



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGIE VÝROBY VERTIKÁLNÍHO KABELOVÉHO
ŽLABU PRO NÍZKONAPĚŤOVÉ ROZVADĚČE ABB**

TECHNOLOGY OF PRODUCTION VERTICAL WIRING DUCT FOR LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR ABB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Šín

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Martin Šín**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie výroby vertikálního kabelového žlabu pro nízkonapětové rozvaděče ABB

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh nového provedení kabelového žlabu s využitím technologie ohýbání v průmyslové praxi a optimalizace technologického postupu vyráběné součásti.

Cíle bakalářské práce:

Návrh tvaru součásti kabelového žlabu a jeho porovnání se stávajícím stavem. Vše doloženo výpočtovou částí a výkresovou dokumentací včetně ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-8-7080-741-5.

HOSFORD, WILLIAM F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York:Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3.vyd.Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ŠÍN Martin: Technologie výroby vertikálního kabelového žlabu pro nízkonapěťové rozváděče ABB.

Bakalářská práce představuje návrh technologie výroby vertikálního kabelového žlabu pro nízkonapěťové rozváděče firmy ABB. Sestava je složena ze dvou částí. Kabelový žlab a stínicí přepážka jsou vyrobeny z pozinkovaného plechu 11 321, jakosti DX52D+Z275 MB o tloušťce materiálu 1 mm. Na základě studie a výpočtů byla navržena výroba součástí pomocí děrování, řezání laserem, ohýbání na ohraňovacím lisu a spojení jednotlivých částí pomocí metody clinching. Vše doloženo výpočtem a výkresovou dokumentací.

Klíčová slova: 11 321, tváření, ohýbání, laser, clinching

ABSTRACT

ŠÍN Martin: Technology of production vertical wiring duct for low-voltage switchgear ABB.

The bachelor thesis presents the design of the technology for production of a vertical cable tray for ABB low voltage switchboards. The assembly consists of two parts. Cable gutter and shielding partition are made of galvanized sheet 11 321, quality DX52D+Z275MB with material thickness 1 mm. Manufacturing of the component by means of punching, laser cutting, bending on the bending press and joining of individual parts using the clinching method was designed based on the study and calculations. Everything is documented by calculation and drawing documentation.

Keywords: 11 321, forming, bending, laser, clinching

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠÍN, Martin. *Technologie výroby vertikálního kabelového žlabu pro nízkonapěťové rozváděče ABB*. Brno, 2017. 42s, 3 výkresy, 3 přílohy, CD“. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Třebíči dne 3. 5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji především panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. z VUT Brno, Ing. Petře Hansen a dalším kolegům z firmy ABB s.r.o. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále také děkuji své rodině za trpělivost a podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	8
1 FIRMA ABB	9
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	11
2.1 Varianty provedení součásti	11
2.2 Varianty výroby	12
3 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ	15
3.1 Technologie stříhání	15
3.2 Technologie děrování	18
3.3 Technologie řezání laserem	19
3.4 Technologie ohýbání	21
3.5 Technologie spojování materiálů metodou clinching	24
4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	26
4.1 Postup práce	26
4.2 Velikost polotovaru	27
4.2.1 Výpočet rozvinuté délky součásti A	27
4.2.2 Výpočet rozvinuté délky součásti B	29
4.3 Nástřihový plán	30
4.3.1 Stanovení přepážky a okraje	30
4.3.2 Umístění výstřižků na pásy plechu	31
4.3.3 Ekonomické využití materiálu	34
4.4 Výpočet stříhu	36
4.5 Výpočet ohybu	36
4.6 Volba stroje	37
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	38
5.1 Technické hodnocení	38
5.2 Ekonomické hodnocení	38
5.2.1 Spotřeba materiálu	38
5.2.2 Hmotnost odpadu	39
5.2.3 Odpad způsobený děrováním	39
5.2.4 Náklady na materiál	40
6 ZÁVĚRY	42

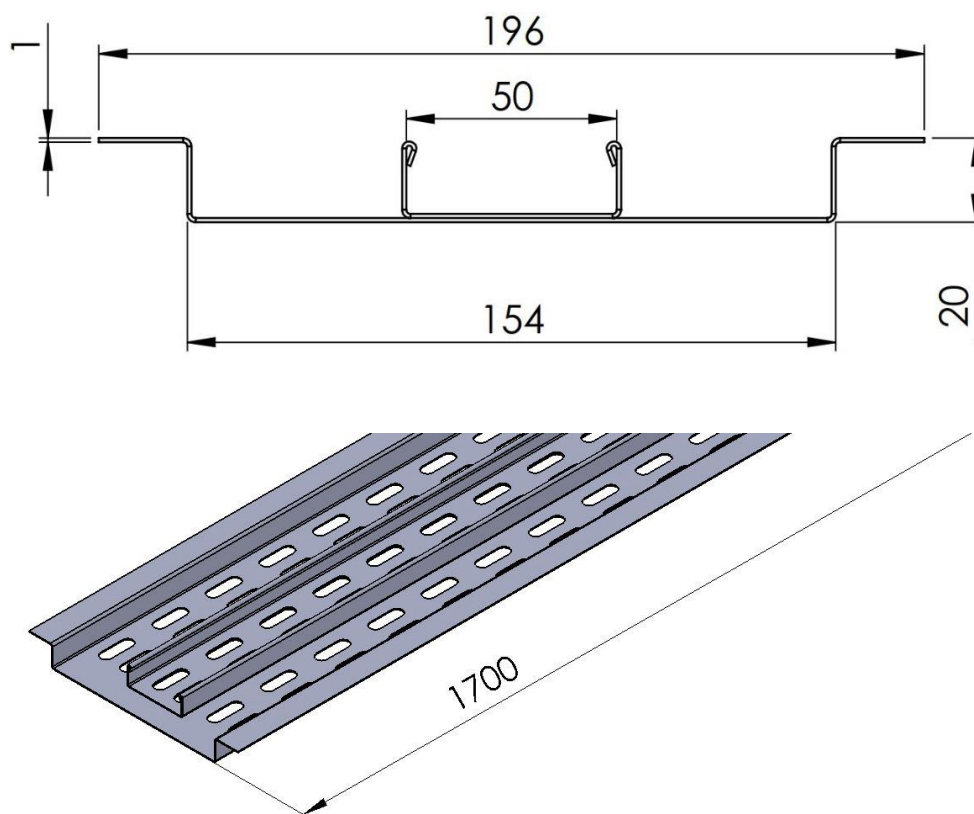
Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

V oblasti strojírenské technologie je v současné době kladen velký důraz na vysokou kvalitu vyráběných součástí a jejich výrobní ceny. Pomocí různých technologických metod je možné vyrábět velmi přesné součásti mnoha tvarů a velikostí.

Mezi některé z nich se řadí i technologie tváření, která v dnešní době zaujímá nezastupitelné místo v široké oblasti strojírenství a průmyslových odvětví.

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou současného stavu a návrhem výroby součásti s názvem kabelový žlab, obecnou studií normy ČSN 33 2000-5-52, která se zabývá ukládáním kabelů do kabelových žlabů, volbou materiálu, výběrem vhodných strojů a nástrojů, atd. Kabelový žlab je nedílnou součástí nízkonapěťového rozváděče vyráběné firmou ABB. Slouží k uložení kabelových rozvodů a jejich odstínění, viz obr. 1.



Obr. 1 Kabelový žlab

1 FIRMA ABB [1]





Stávající technologie firmy ABB umožňují mnohé z moderních vymožeností, tak samozřejmých jako možnost ovládat elektrickou energii pouhým stisknutím spínače, nebo potřebných, jako je zvyšovat produktivitu průmyslových závodů. Na nich pracuje 135 000 lidí ve sto zemích světa, z toho více než 3 400 v ČR.

ABB je přední světovou společností působící v oblasti energetiky a automatizace. Umožňuje zákazníkům z oblasti průmyslu a distribuce energií zlepšit jejich výkonnost a současně snížit dopad jejich činností na životní prostředí.

ABB má více než 120-letou tradici a její úspěch je dán zejména silným zaměřením na výzkum a vývoj podpořený sedmi výzkumnými centry po celém světě.

Organizačně je ABB rozčleněna do čtyř divizí, viz tab. 1: Elektrotechnické výrobky, Energetika, Automatizace výroby a pohony a Procesní automatizace.

Tab. 1 Divize ABB [1]

	Elektrotechnické výrobky: <ul style="list-style-type: none">• rozváděče,• vypínače,• elektroinstalační materiál ...	ABB každý den expeduje zákazníkům po celém světě více než 1 milion výrobků.
	Automatizace výroby a pohony: <ul style="list-style-type: none">• motory,• generátory,• robotika ...	ABB je největší světový dodavatel průmyslových elektrických motorů a frekvenčních měničů.
	Procesní automatizace: <ul style="list-style-type: none">• konstrukce na klíč,• těžní stroje,• turbodmychadla ...	Jako první na světě dodala společnost ABB elektrické vedení z pobřeží na těžební plošinu na moři.
	Energetika: <ul style="list-style-type: none">• transformátory,• výrobky pro velmi vysoké napětí ...	ABB je největší světový dodavatel transformátorů a stále posunuje rekord ve výši napětí. Rovněž je lídrem v oblasti výrobků pro velmi vysoké napětí a řešení pro rozvodny.

- Rozváděčové systémy do 1000 V [1]

ABB vyrábí ve svých 30 výrobních jednotkách ve světě nízkonapěťové rozváděče jednotné standardizované konstrukce. Rozváděče využívající moderní silové spínací prvky i prvky pro řízení pohonů.

ABB je předního výrobce této kategorie rozváděčů s více než 25-letou praxí získanou z vývoje systémů a výroby. Zkušenost má také v instalaci více než 800 tisíc rozváděčových polí MNS v těch nejnáročnějších provozech, včetně instalací na lodích a vrtných plošinách.

NN rozváděče MNS 3.0 (inteligentní rozváděčové systémy), MNS iS (integrované rozváděčové systémy) představují ucelenou výrobovou řadu rozváděčů do 1000 V/6000 A, viz Obr. 2. Rozváděče jsou kategorie "TTA" (Type Tested Assembly), modulární konstrukce, s možností separace funkčních prvků do úrovně 4B/6 dle IEC standardů a s certifikáty renomovaných zkušeben na všechny parametry včetně obloukových zkratů.



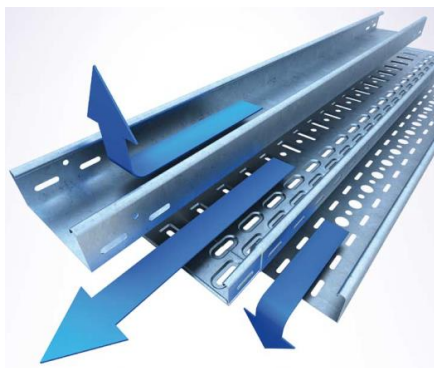
Obr. 2 Rozvaděč MNS [1]

- Kabelové žlaby [3], [7], [15]

Obecně kabelové žlaby, viz obr. 3, jsou vhodné pro ukládání kabelů, vodičů měření regulace, světelných rozvodů a motorických rozvodů pro spotřebiče menších výkonů.

Veškeré prvky jsou opatřeny perforací a otvory, viz obr. 4, které umožňují spojování jednotlivých dílů, připevňování žlabů a proudění vzduchu pro ochlazování kabelů.

Systém kabelových žlabů je tvořen prvky, které umožňují snadnou a rychlou montáž kabelových tras. Kabely jsou přitom chráněny proti mechanickému poškození, prachu, slunečnímu záření.



Obr. 3 Kabelové žlaby [15]



Obr. 4 Příklad perforace kabelových žlabů

Další podrobnější informace pro bezpečné a správné ukládání kabelů do kabelových žlabů je v příloze 1.

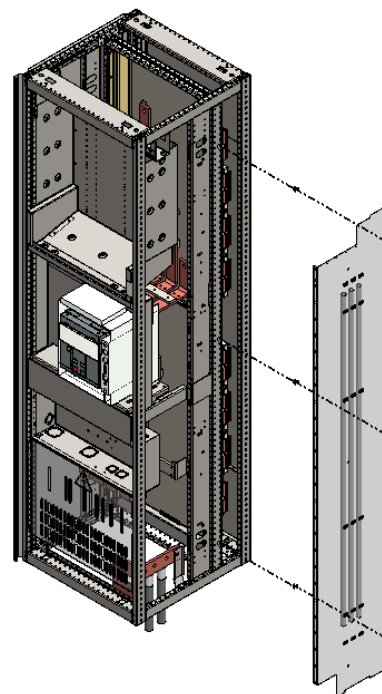
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

V nízkonapěťovém rozváděči ABB se v současné době nachází dvě vertikální místa pro vedení kabelových rozvodů, viz obr. 5. Levá a pravá strana, pohledem zepředu. Levou stranou jsou vedeny kabely do rozváděče výrobcem a pravá strana slouží zákazníkovi.

K rozváděči lze připojit silové kabely střídavého napětí do 400 V, stejnosměrného napětí do 400 V a datové linky pro přenos informací.

Na pravé straně není kabelový žlab, ale 3 plastové trubky o průměru 20 mm, které jsou určeny k přenosu dat, AC a DC napětí. Tenhle stav je nevyhovující hned z několika důvodů. Trubky mají kvůli omezenému místu malý průřez, takže se do nich kabely špatně dostávají a nevejdou se tam všechny. Kabelové vedení není po celé délce stěny rozváděče, takže dochází na jejich koncích k nedokonalému odstínění kabelů.

Výše uvedené nevýhody a jejich řešení budou zohledněny v méj bakalářské práci.



Obr. 5 Současný stav s trubkami

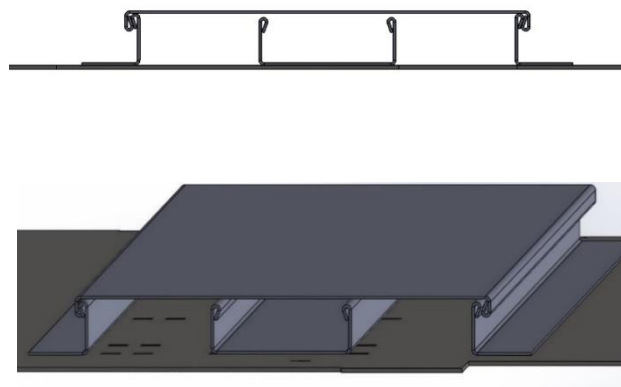
2.1 Varianty provedení součásti

Pro malý prostor se naskytuje omezený počet variant výroby.

Varianta a)

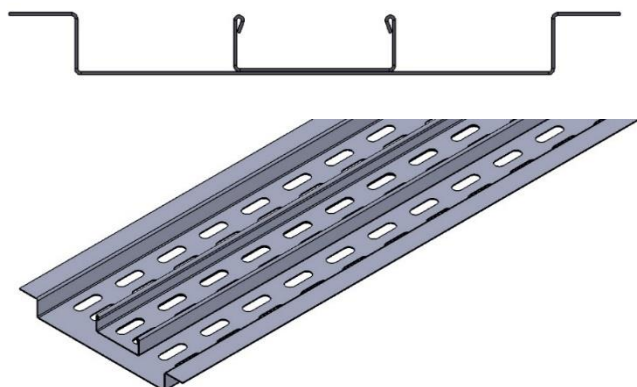
U této varianty kabelového žlabu je třeba počítat s krytem kvůli kvalitnímu odstínění kabelů, viz obr. 6. Připevnění krytu ke žlabu musí splňovat vibrační zkoušku proti samovolnému uvolnění, proto musí být připevněn na pevně pomocí například šroubového spojení.

Tato varianta nevyužívá dostatečně omezený prostor, sestava se skládá ze tří částí, kabelového žlabu, stínící přepážky a krytu. Pro další zvažování výroby je nevyhovující.



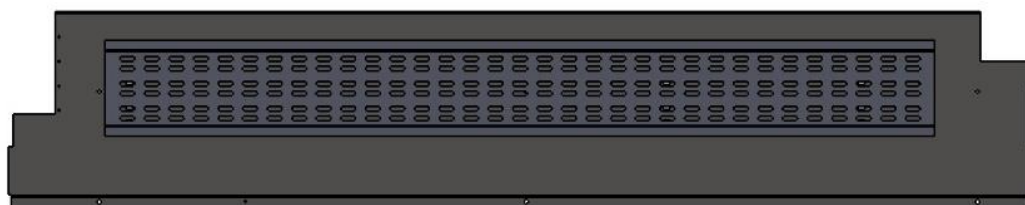
Obr. 6 Varianta a)

Varianta b)



Tato varianta kabelového žlabu nepotřebuje kryt, viz obr. 7, protože je připevněn přímo na boční stěnu rozváděče a tvoří tak uzavřený celek. Sestava je složena pouze ze dvou částí, z kabelového žlabu a stínící přepážky.

Ohledně možnosti dodržet maximální rozměry a přitom využít co nejvíce dispoziční prostor, stává se tato varianta nejlepším řešením.



Obr. 7 Varianta b)

Další vypracování bakalářské práce bude zaměřeno na tuto variantu b).

2.2 Varianty výroby [12], [14], [17], [18], [24]

Existuje několik technologií, které lze použít pro celkovou výrobu navrhované součásti. Kvůli efektivnosti je však třeba vybrat tu nejvhodnější.

Pro dělení vnějších obrysů kabelového žlabu se naskytuje kvůli velkým rozměrům nekonvenční metody řezání plazmou nebo laserem. Řezání plazmou se používá pro materiály tloušťky větší než 3 mm. Kvůli tloušťce materiálu 1 mm zůstává nejlepším řešením metoda řezání LASEREM (viz kap. 3).

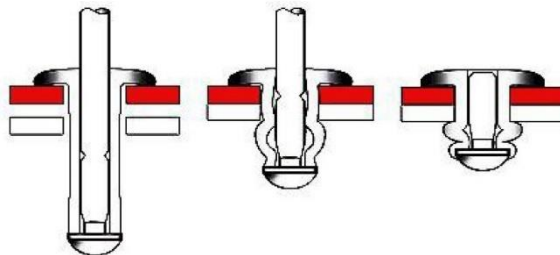
Žlab je tvořen po celé délce perforací, kterou lze provést pomocí vysekávacího lisu, řezáním laserem, nebo děrováním a vysekáváním na speciálních kombinovaných strojích pomocí raznic. Jakožto bude obvod součástí vyřezán pomocí laseru, naskytuje se příležitost provést děrování a řezání současně na kombinovaném stroji, tzv. na jedno upnutí (viz kap. 3).

Ohýbání součásti do požadovaných tvarů lze provést pomocí lisu v ohýbacím nástroji. To probíhá na hydraulických, mechanických nebo speciálních strojích. Dalším metodou je ohýbání na ohraňovacím lisu (viz kap. 3). Pro velký počet, velké rozměry a okrajovou obrubu na stínící přepážce je lépe použít ohraňovací stroj, který má v dnešní době velké využití.

Spojování materiálů je možné provádět pomocí nýtování, šroubového spoje, bodového svařování, nebo metodou clinching (press spojování, viz kap. 3).

Mezi možností spojování plechových součástí vzhledem k velikosti naší součásti patří:

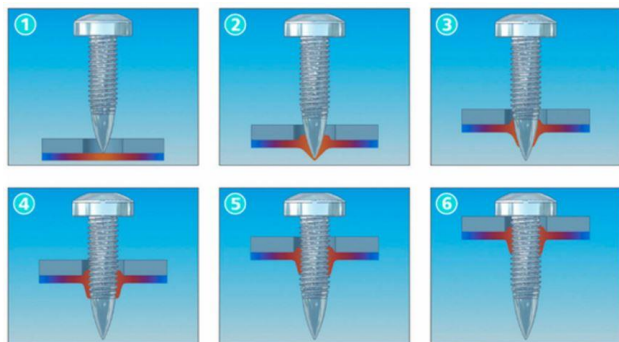
- Nýtování (viz obr. 8) – nerozebíratelné spojení dvou a více materiálů pomocí nýtů různých tvarů a velikostí. Velké uplatnění má v oblasti strojírenství, v automobilovém a leteckém průmyslu. Princip spočívá v tom, že do spojovaných součástí se vytvoří otvor velikosti průměru nýtu. Ten se potom vloží do k sobě přitlačených ploch a napěchováním nýtu vznikne nerozebíratelný spoj. Pěchování provádíme pomocí nýtovacích kleští, lisu, nebo ručně kladivem.



Obr. 8 Nýtování [18]

Výhodou je, že lze spojovat různé druhy materiálů, nýtování není náročné, je levné a spoj je pevný.

- Šroubový spoj – je rozebíratelné spojení dvou a více součástí pomocí šroubu a matice, nebo pomocí závrtného šroubu. To záleží na možnostech spoje.



Principem spoje tvářecím šroubem (viz obr. 9) je nasazení speciálního šroubu na nepředvrtané místo spoje, roztočení do vysokých otáček, kdy dojde k natavení materiálu a vznikne průtah. Dále špička šroubu proniká dírou a řeže si cestu pomocí závitu.

Obr. 9 Spoj pomocí tvářecího šroubu [17]

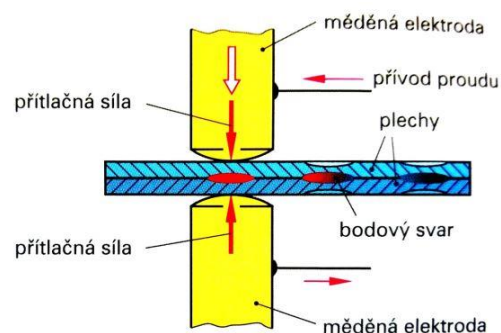
Princip zavrtání šroubu:

1. Zahřívání
2. Prostoupení/perforace
3. Tvarování průtahu
4. Tváření závitu
5. Prošroubování
6. Utažení

Výhodou je že lze spojovat materiály různých druhů a tlouštěk.

Nevýhodou je v některých případech nutnost navrtat otvory, tvorba závitů. Provedení s větším množstvím šroubových spojů na jedné součásti je časově náročné.

- Bodové svařování – patří mezi jednu z nejpoužívanějších metod spojování materiálů pomocí odporového svařování (viz obr. 10). Spojované součásti jsou umístěny mezi elektrody, a po jejich stlačení dojde ke spojení elektrického obvodu. Vlivem působení elektrického odporu dojde v místě spoje elektrod a materiálem k roztavení stykových ploch. To probíhá ve velmi krátkém časovém úseku. Kvalita svaru závisí na optimálním nastavení svařovacího proudu a velikosti působícího tlaku. Velké využití má v oblasti automobilního průmyslu.



Obr. 10 Bodové svařování [14]

Výhodou je velká rychlost svařování, pevnost a kvalita spoje.

Pro řešení situace v rozváděči budou použity následující technologie výroby. Technologie dělení materiálu stříháním - děrováním, nekonvenční tepelné dělení materiálu laserem, ohýbání a metoda clinching pro spojení stínící přepážky s kabelovým žlabem a dále ke stěně rozváděče.

3 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ

Technologie tváření kovů a slitin představuje výrobní proces, při němž dostává polotovar po zpracování konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil, aniž by došlo k porušení soudržnosti materiálu.

Technologický proces, kdy je polotovar při zanedbatelné změně tloušťky a plochy přetvořen do prostorového tvaru se nazývá plošné tváření. Tuhle metodou lze vyrábět součásti velmi malých rozměrů. Materiálem mohou být například trubky, tenkostěnné materiály nebo plech.

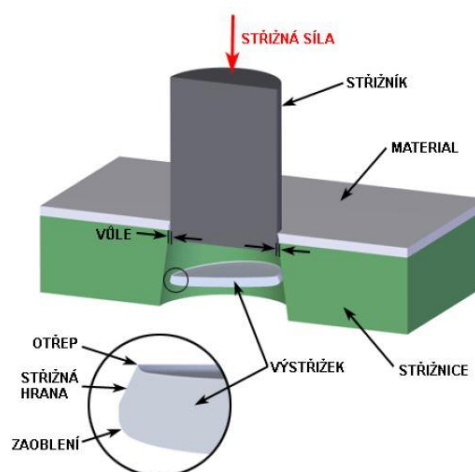
Pro získání speciálních vlastností, plech upravujeme nanesením povlaku na kovový základ, kterým bývá ocelový plech válcovaný za studena v podobě tabule nebo svitku. Jako povlak se používá pozinkování, pocínování, pohliníkování, pochromování nebo povlak z plastické hmoty. Jedním z nejpoužívanějších je úprava pozinkováním, která nachází široké uplatnění ve strojírenství, stavebnictví a v oblasti spotřebního průmyslu.

3.1 Technologie stříhání [2], [11], [13], [20], [26], [28], [29]

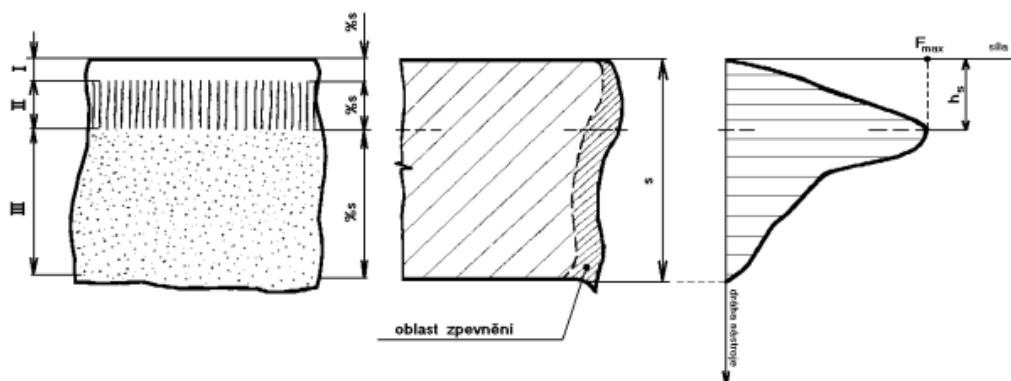
Stříhání se řadí mezi technologie plošného tváření, a využití má například v automobilovém průmyslu, při výrobě součástek elektrických strojů, výrobků přesné mechaniky a další.

Jedná se o beztržkové zpracování kovů a jiných materiálů jednotlivými technologickými postupy. Materiál je při tom postupně nebo současně oddělován podél křivky stříhu nástrojem, kterým mohou být nůžky nebo stříhadlo, viz obr. 11.

Stříhání je jednou ze základních operací dělení materiálu, která je zakončena u kovů porušením v ohnisku deformace, viz obr. 12. K přerušení materiálu dojde pomocí dvou břitů, které se pohybují proti sobě.



Obr. 11 Princip stříhání [20]



Obr. 12 Tvar střížné plochy [28]

Legenda:

h_s - hloubka vniku do materiálu nástrojovou střížnou hranou [mm]

s - tloušťka materiálu [mm]

F_{\max} - maximální střížná síla [N]

Oblast I: pásmo pružné deformace, které vznikne při vniknutí střížníku do materiálu.

Oblast II: lesklá a hladká část střížné plochy, vzniklá plastickou deformací.

Oblast III: oblast lomu, kde vlivem působení smykového napětí dojde k samovolnému oddělení stříhané části materiálu.

Mezi metody stříhání se řadí prosté stříhání, děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání a vysekávání.

Pro průběh stříhu je důležité vznikající smykové napětí a střížná síla. Plastická deformace, která vznikne, je při samotném stříhu průběhový, ale také nežádoucím jevem. Kvalita a přesnost střížné plochy je ovlivněna několika důležitými faktory. Mezi ně patří velikost vlastnost stříhaného materiálu, střížná mezera, způsob stříhání a kvalita střížného nástroje.

Výpočet stavu napjatosti a deformace [12], [29]

Rovinný stav deformace:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{ef}}{\sigma_{ef}} = \left[\sigma_2 - \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \right] = 0 \text{ [MPa]} \quad (3.1)$$

Střední napětí σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) \text{ [MPa]} \quad (3.2)$$

Dosazením do podmínky plasticity, lze dosáhnout vztahu pro rovinný stav deformace, kde σ_p je přetvárný odpor.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_p \quad (3.3)$$

Maximální smykové napětí τ_{\max} se odvodí z Mohrových kružnic.

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_p}{\sqrt{3 + \nu_\sigma}} = \frac{1}{3} \cdot \sigma_p \text{ [MPa]} \quad (3.4)$$

K překonání soudržnosti materiálu, musí být přetvárný odpor σ_p roven R_m . Z toho je možné dostat rovnici pro výpočet střížného napětí.

$$\tau_s \cong 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (3.5)$$

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Celková síla

$$F_c = F_s + F_p + F_v \text{ [N]} \quad (3.6)$$

Střížná síla

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (3.7)$$

n - koeficient zahrnující nerovnoměrnost tloušťky a zhoršení kvality nástroje $1 \div 1,3$

τ_s - pevnost ve stříhu [MPa]

S - střížná plocha [mm²]

$$S = l \cdot s \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.8)$$

s - tloušťka polotovaru [mm]

l - obvod střížných ploch [mm]

Přidržovací síla

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h \text{ [N]} \quad (3.9)$$

$4 \cdot R_m$ - empirická hodnota, určující odpor materiálu vůči vtlačení hrany [MPa]

L_h - délka vtláčné hrany [mm]

h - výška vtláčné hrany [mm]

Vyhazovací síla

$$F_v = 0,2 \cdot F_s \text{ [N]} \quad (3.10)$$

Střížná práce

$$A_s = F_c \cdot s \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \text{ [J]} \quad (3.11)$$

λ - součinitel plnosti střížného silového diagramu $0,5 \div 0,55$ [–]

Průběh stříhání

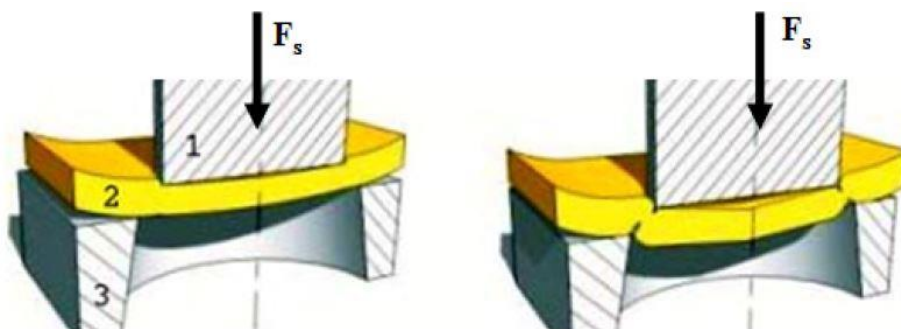
Proces stříhu má tři základní fáze, viz obr. 13.

V první fázi dochází k jeho pružnému vniknutí do materiálu pomocí působení tlaku střížníku, které však nepřesahuje mez kluzu R_e . Hloubka vniku bývá $5 \div 8$ % tloušťky materiálu, která je závislá na mechanických vlastnostech.

Ve druhé fázi je v místě stříhu větší napětí, než je mez kluzu. Dochází tak při vnikání k trvalým plastickým deformacím. Hloubka vniku střížníku bývá obvykle $10 \div 25$ % tloušťky materiálu.

Ve třetí fázi dosáhne napětí mez pevnosti ve stříhu τ_s a dojde k ustřížení materiálu. Hloubka vniku střížníku je $10 \div 60$ % stříhaného materiálu v závislosti na druhu materiálu a velikosti střížné mezery. Povrch je po stříhu velmi nerovný a na spodní hraně u střížnice vzniká výstupek, který se nazývá jehla.

1. Střížník
2. Polotovár
3. střížnice



Obr. 13 Průběh stříhu [2]

Využití materiálu

$$\eta_{\text{max.využití}} = \frac{S_{\Sigma v}}{S_t} \cdot 100 [\%] \quad (3.12)$$

$S_{\Sigma v}$ – plocha všech výstřížků [m^2]

S_t – plocha tabule plechu [m^2]

$$S_{\Sigma v} = P_{cv} \cdot S_v [\text{m}^2] \quad (3.13)$$

P_{cv} – celkový počet výstřížků [m^2]

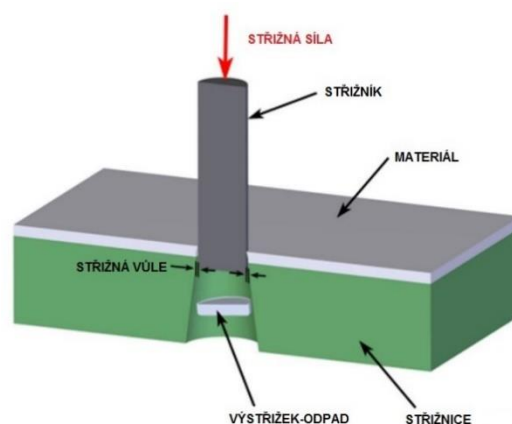
S_v – plocha jednoho výstřížku [m^2]

3.2 Technologie děrování [28], [20]

Řadí se mezi procesy stříhání, kde je materiál z plechu odstraněn za použití velké smykové síly. Pomocí děrování lze provádět otvory různých tvarů a velikostí pomocí děrovacího střížníku a matrice – střížnice, viz obr. 14. Nejvíce běžné jsou geometricky jednoduché kruhové, čtvercové a oválné tvary nebo jejich kombinace. Tyto otvory bývají standardní. Kvůli vzniklým po děrování je třeba provádět dokončovací práce k dosažení hladkých okrajů.

Plech je vložen na pracovní stůl mezi střížník a střížnici. Ty mají tvar požadovaného výstříhu. Působením síly od lisu na střížník směrem dolů dochází k samotnému procesu děrování plechu. Odstřížený odpad je vyražen a padá směrem dolů přes střížnici.

Tento proces může probíhat na mechanických nebo CNC lisech. CNC lisy mohou být poháněny hydraulicky, elektricky nebo pneumaticky, a to časově velmi rychle, až 600 úderů za minutu. Razníky se umísťují do speciálních hlavíc, které jsou schopny pojmout až sto různých razníků, které se otáčí do požadované polohy.



Obr. 14 Děrování [20]

3.3 Technologie řezání laserem [5], [10], [19], [30]

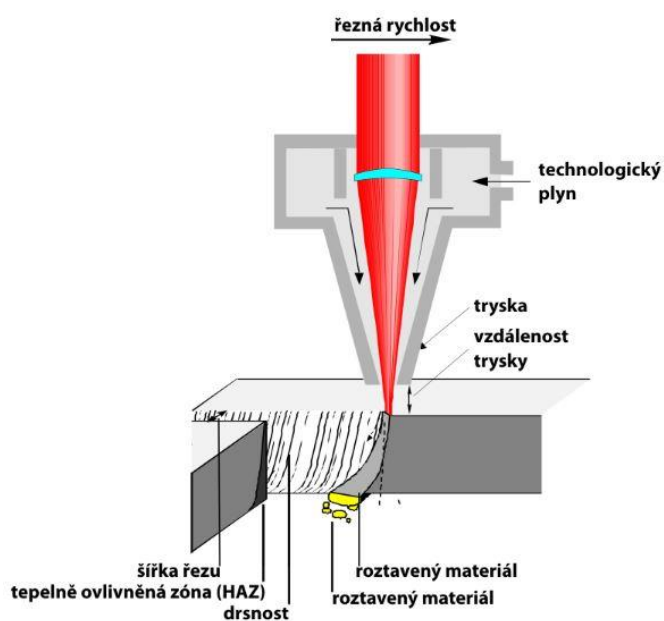
Jedná se o nekonvenční metodu tepelného dělení materiálu, která je velmi rozšířená a historicky se řadí do 2. pol. 20 století, viz obr. 15. I když prodělala do dnešní doby mnoho vývojových a zdokonalovacích změn, princip zůstává stejný.

Zkratka LASER znamená **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, což v překladu znamená zesilování světla stimulovanou emisí záření.

Fokuseovaný laserový paprsek dopadá na obrobek a materiál se zahřívá tak silně, že dochází k jeho roztavení nebo odpaření. Po proniknutí materiálem začíná proces řezání, kdy je tavenina vyfukována proudícím plynem z mezery řezu směrem dolů, viz obr. 16.



Obr. 15 Řezání laserem [30]



Obr. 16 Princip LASERU [5]

Hlavní rozdělení:

Podle typu aktivního prostředí:

- plynové
- pevnolátkové
- diodové
- kapalinové

Podle vlnové délky:

- infračervené
- emitující ve viditelné oblasti
- ultrafialové

Podle režimu práce:

- kontinuální
- pulzní
- impulzní

Metody řezání laserem se rozdělují na:

- Tavné – u děleného materiálu dochází v místě řezu k natavení a vzniklá tavenina je oddělena proudem čistého inertního plynu. Tento plyn se na samotném procesu řezání nepodílí. Oproti ostatním metodám dosahuje tento způsob nízkých řezných rychlostí.
- Oxidační – od tavného se liší použitím kyslíku jako řezného plynu.
- Sublimační – dnes je nejméně používaný. Při řezání dochází v místě řezu k odpařování materiálu. Vzniklé kovové páry jsou z místa odfukovány technologickým plynem. Z důvodu možné oxidace materiálu bývá tento plyn nejčastěji argon nebo dusík.

Jedním z nejnovějších způsobů je náhrada CO₂ laserů vláknovými lasery, kde je výrazně zvýšena řezná rychlost a to i s polovičním výkonem. Patří mezi pevnolátkové, kde aktivním prostředím bývá optické vlákno dopované atomy erbia (Er) nebo yterbia (Yr). Výkony dosahují až 40 kW.

Laser nachází využití v mnoha nejrůznějších oblastech, např. v domácí a kancelářské elektronice, strojírenském průmyslu, výzkumu, zdravotnictví, zábavném průmyslu a zbrojním průmyslu.

Dále lze provádět texturování, kdy se pomocí laserového svazku tvoří vzor na povrchu polotovaru. Také gravírování, glazování, čištění a leštění.

Výhody:

- Vysoká řezná rychlost
- Tloušťka řezného materiálu až 30 mm
- Řezání otvorů velmi malých rozměrů
- Vysoká přesnost
- Velmi malá řezná mezera (0,2 – 0,4 mm)
- Dobrá kvalita řezných ploch
- Lze řezat téměř každý technický materiál
- Malé přivedené teplo, nevznikají žádná deformace

Nevýhoda:

- Vysoké pořizovací a provozní náklady
- Při řezání lesklých povrchů dochází ke snížení stability procesu
- Nutná přesnost řízení vzdálenosti od povrchu polotovaru
- Vyšší nárok na kvalifikaci pracovníků
- Nutnost dodržovat zvýšenou bezpečnost práce

Velké využití mají metody laser u kombinovaných strojů, kdy lze součásti vyrábět na jedno upnutí.

3.4 Technologie ohýbání [13], [24], [27], [28], [29]

Ohýbání je technologický proces, kdy dochází k trvalé deformaci materiálu, který je napětím od působící síly buď ohýbán, nebo rovnán.

Při ohýbání dochází k posunutí neutrální osy, takže není totožná s osou geometrickou, viz obr. 17.

U větších ohybů, kde $R_o > 12 \cdot s$ lze předpokládat, že se neutrální plocha nachází uprostřed tloušťky materiálu. Výpočet poloměru: $\rho = R_o + \frac{s}{2}$

Pro malé poloměry platí, že se vlivem napětí a deformace průřezu neutrální plocha posouvá směrem ke stlačeným vláknům. Výpočet poloměru: $\rho = R_o + x \cdot s$

1a, 1b – oblast pružné deformace

2a, 2b – oblast plastické deformace

R_o – poloměr ohybu [mm]

l_o – délka úseku ohybu v neutrální ploše [mm]

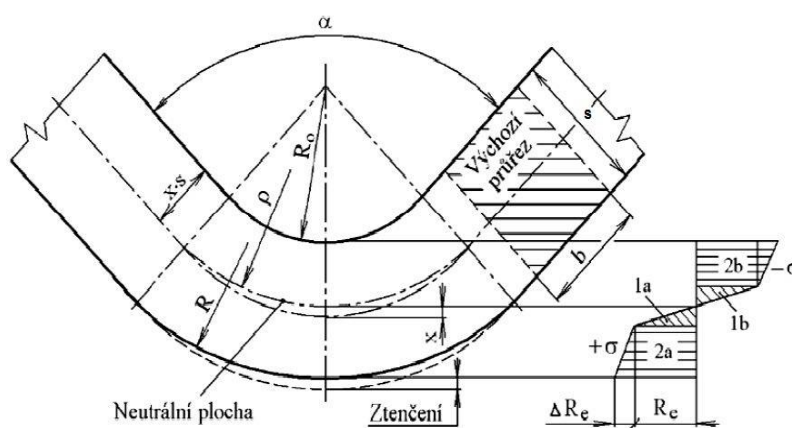
ρ – poloměr neutrální plochy [mm]

γ – úhel úseku ohybu [°]

α – úhel ohybu [°]

x – velikost posunutí neutrální osy od původní osy [mm]

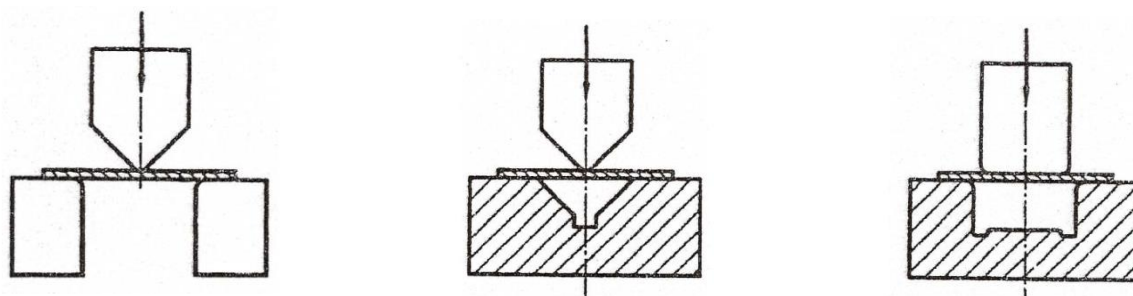
s – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]



Obr. 17 Ohýbání [28]

Podle druhu a tvaru ohybu je ohýbání děleno, viz obr. 18

- Volné – nezabezpečuje nám přesný tvar ohybu
- Ohyb ve tvaru V – přesné ohýbání, kde úhel ohybu pásu plechu nepřesahuje 180°
- Ohyb ve tvaru U – lze použít pro materiály o tloušťce 0,5mm ÷ 25mm

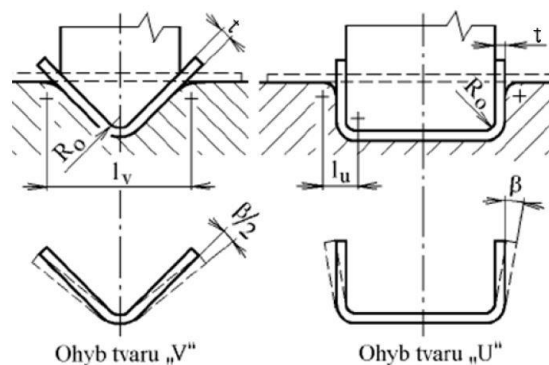


Obr. 18 Volný ohyb, ohyb ve tvaru V, ohyb ve tvaru U [28]

Technologičnost součástí:

Odpružení

Velikost pružné deformace se projevuje odpružením materiálu po ohýbání (obr. 19). Zjišťujeme ho výpočtem nebo experimentem.



Obr. 19 Schéma ohybu ve tvaru V, U [28]

Úhel odpružení β pro ohyb ve tvaru V-tvaru (obr. 19)

$$tg\beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} [^\circ] \quad (3.14)$$

Úhel odpružení β pro ohyb ve tvaru U-tvaru (obr. 19)

$$tg\beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} [^\circ] \quad (3.15)$$

l_v, l_u – vzdálenosti mezi opěrami ohybnice [mm]

$$l_u = R_m + R_o + 1,2 \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (3.16)$$

E – Youngův modul pružnosti v tahu [MPa]

β – úhel odpružení [°]

s – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

k – součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru R_o/s ; $k = 1 - x$; volí se v rozsahu $0,5 \div 0,68$ dle ČSN 22 7340 [-]

x - koeficient posunutí neutrální osy [mm], (tab. 3 a 4)

R_e – mez kluzu [MPa]

Minimální a maximální poloměr ohybu závisí na plastičnosti a anizotropii tvářeného materiálu, způsobu ohýbání a kvalitě povrchu. Ohyb provádíme kolmo ke směru vláken materiálu.

Minimální poloměr ohybu je takový poloměr, při jehož překročení na vnější tahové straně dochází k porušení materiálu.

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 = c \cdot s [mm] \quad (3.17)$$

ε_c – mezní prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení materiálu

R_{min} pro měkkou ocel $(0,4 \div 0,8) \cdot s$

pro měď $0,25 \cdot s$

pro hliník $0,35 \cdot s$

Maximální poloměr je takový poloměr, při němž v krajních vláknech na tahové straně dochází k trvalé deformaci.

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \frac{E}{R_e} - 1 [mm] \quad (3.18)$$

Pomocí technologie ohýbání můžeme také lemovat, obrubovat, prosazovat nebo zkrucovat. Tyto technologie jsou popsány v ČSN 22 6001.

Výpočet rozvinuté délky polotovaru, viz obr. 20

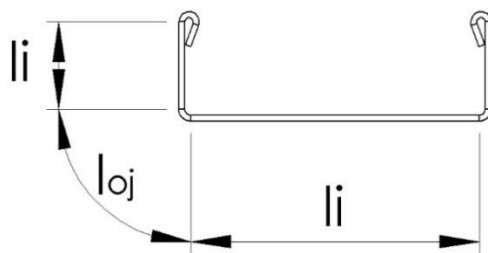
Tab. 2. Hodnota koeficientu posunutí neutrální osy „x“, upraveno podle [27]

Mez pevnosti do 400 MPa												
R _o /s	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,5	2,0
x	0,25	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45

Tab. 3. Hodnota koeficientu posunutí neutrální osy „x“, upraveno podle VUT [28]

Mez pevnosti do 400 MPa											
R _o /s	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Pro rozdílné hodnoty v tabulce 2. a 3. bude proveden experimentální výpočet pro porovnání výsledných hodnot v kapitole 4.2.1.



Obr. 20 Výpočet rozvinuté délky

$$l_c = \sum l_i + \sum l_{oj} [mm] \quad (3.19)$$

l_i – délka i-tého rovného úseku [mm]

l_{oj} - délka neutrální vrstvy v j-tém místě ohybu [mm]

$$l_{oj} = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \rho \text{ [mm]} \quad (3.20)$$

$$\rho = R_o + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.21)$$

Síla pro vytvoření ohybu tvaru V

$$F_o = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot \rho} \cdot tg \frac{\alpha}{2} \text{ [N]} \quad (3.22)$$

b – šířka plechu [mm]

α – úhel ohybu [mm]

Výpočet ohybové práce

$$A_o = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{ov} \cdot L_v}{1000} \text{ [J]} \quad (3.23)$$

3.5 Technologie spojování materiálů metodou clinching [4], [6], [8], [21], [22], [23]

Jedná se o nerozebíratelné spojení plechů tvářením za studena. Velkou výhodou je vysoká pevnost, nízká hmotnost, jednoduchost a nízké náklady na výrobu.

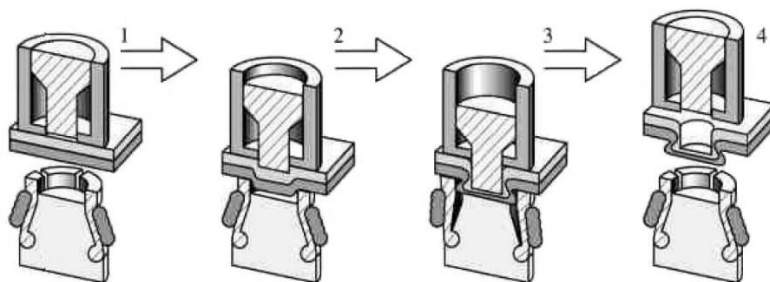
Velké využití má v průmyslu výroby automobilů, kolejových vozidel, v elektrotechnice, při výrobě domácích spotřebičů a další. Výraznou předností je s porovnáním se spojováním



Obr. 21 Nástroje Clinching [21]

materiálů pomocí zahřívání součástí v tom, že nedochází v oblasti svaru k tepelnému šoku, který způsobuje změnu vlastností původní struktury materiálu. Takto vzniká vysoce kvalitní spoj, který má řadu předností. Spojovat lze různé druhy materiálů, nemusí se součásti určené ke spojení zvláště připravovat a proces probíhá bez dalších přídavných spojovacích prvků. Tato metoda se řadí mezi ekonomické procesy výroby, protože pomocí clinching nástrojů, viz obr. 21, lze provést stovky až tisíce spojů.

Princip, spočívá v tom, viz obr. 22, že za pomoci speciálního clinching stroje nebo kleští, viz tab. 4, dojde k plastickému spojení plechů prolisem a vytvoří tak mechanický zámek. Nástroj se skládá z razníku a raznice. Při spojování razník stlačí dvě vrstvy materiálů do raznice a vznikne nerozebíratelné spojení. Tvar, viz tab. 5, a velikost spoje závisí na tvaru razníku a raznice.

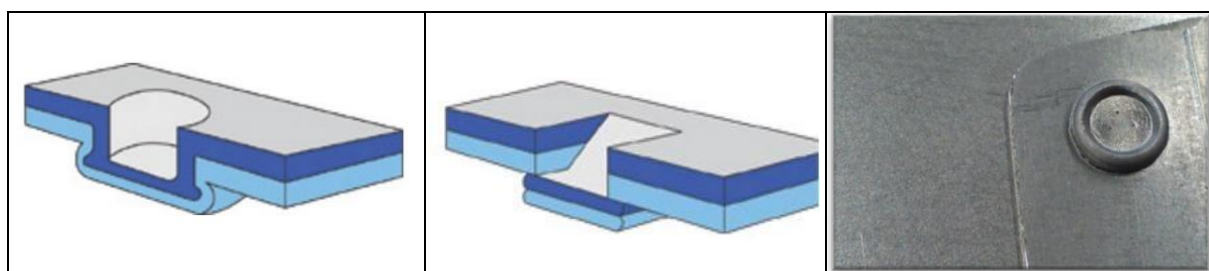


Obr. 22 Princip metody clinching [8]

Tab. 4 Nástroje na clinching [6]

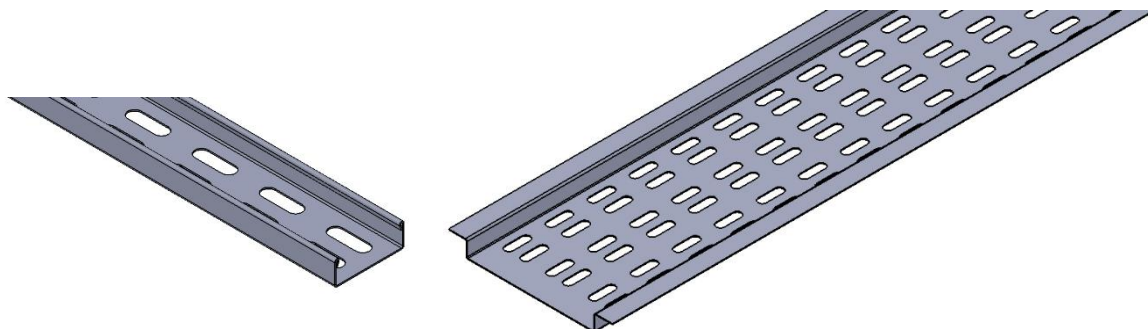


Tab. 5 Tvar spoje [8]



4 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI [25]

Kabelový žlab, je složen ze dvou částí **A** (žlab), **B** (stínící přepážka), viz obr. 23. Lze ho vyrobit z různých materiálů. Možné je použít korozivzdorný, nebo pozinkovaný plech. Pro výrobu této součásti byl vybrán pozinkovaný plech tloušťky 1 mm, který je více ekonomický a také je z něj vyrobeno většina podobných částí rozváděče. Polotovár je se zvýšenou jakostí DX52D + Z275 MB, kde Z275 znamená použití zinkového povlaku z obou stran o hmotnosti 275 g/m²; M – malý zinkový květ, B – zvýšená kvalita povrchu. Tento materiál je třídy 11 321, má velmi dobré mechanické vlastnosti a je vhodný pro ohýbání. $R_e = 140 \div 300$ MPa, $R_m = 270 \div 420$ MPa, tažnost $A = 26 \%$. Vlastnosti žárově pozinkovaného plechu jsou předepsány normou EN 10346. Požadovaný počet výrobků Q je 5000 ks.



Obr. 23 Součást A, B

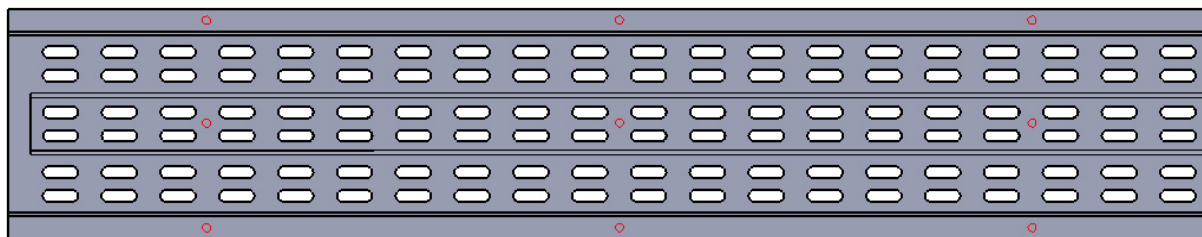
4.1 Postup práce

Takto zvolený materiál bude děrován a následně řezán na kombinovaném stroji pro řezání laserem a děrování. Perforace bude provedena pomocí děrovací hlavice současně se dvěma razníky. Rozměry jsou uvedeny na výkresu v příloze. Pro usnadnění konečné montáže bude pomocí programu CNC nastavena operace gravírování na místech, kde bude spoj dvou částí kabelového žlabu a spojení žlabu ke stěně rozváděče.

Poté je potřeba součásti odjehlít a zabrousit hrany.

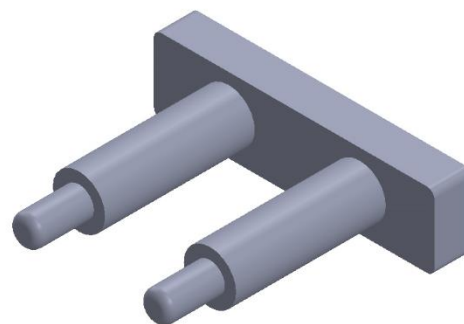
Dalším krokem bude ohýbání. Tyto úkony proběhnou na ohraňovacím lisu a to následujícím způsobem. Nejprve se udělá vnější ohyb na úhel 90°, přidaný o úhel odpružení. Je nutné dodržet minimální radius, pro je zvolen 1 mm, viz výpočty. Poté se udělají vnitřní ohyb, také na úhel 90°. Součást se otočí a ty samé úkony proběhnou na druhé straně. Na součásti B se bude vytvářet navíc obrubovací lem s radiusem 0,7 mm o úhel 200°.

Další operací bude spojování pomocí metody clinchig v místech naznačených gravírováním. Spoje budou umístěny v délce na pěti místech, od okraje 170 mm a dále po 353 mm, viz obr. 24.



Obr. 24 Umístění clinching spojů

K této činnosti je dobré použít přípravek pro vystředění děr, viz obr. 25, která nám zajistí přesné uložení stínící přepážky na samotný kabelový žlab. Ten bude vystředovat perforaci přepážky a perforaci žlabu. Přípravek nebude součástí bakalářské práce.



Obr. 25 Přípravek na vystředění děr

Po zkompletování kabelového žlabu proběhne vizuální kontrola a připevnění hotové součásti na boční stěnu rozvaděče.

Kvůli bezpečnosti při práci na rozváděči musí být kabelový žlab uzemněn pomocí zemnicího měděného pásku. Jeho rozměry a způsob upevnění určuje norma ČSN 33 2000-5-52, která se zabývá obecným ukládáním kabelů do kabelových žlabů. Spolu s jeho držákem bude připevněn na stěně kabelového žlabu s využitím perforace. Tento držák, ani jeho připevnění nebude předmětem této bakalářské práce.



Obr. 26 Lemovka černá [9]

Mezi poslední kroky patří připevnění lemovky na okraje žlabu z důvodu zabránění poškození kabelů, viz obr. 26. Tento krok nebude dále součástí bakalářské práce.

Posledním krokem je výstupní kontrola pro zjištění správnosti celkové montáže a umístění součásti na stěnu.

4.2 Velikost polotovaru

4.2.1 Výpočet rozvinuté délky součásti A (obr. 27)



Obr. 27 Délky součásti A

$$l_1 = l_5 = 20mm$$

$$l_2 = l_4 = 16mm$$

$$l_3 = 150mm$$

$$R_o = 1mm$$

$$\alpha = 90^\circ$$

Experimentální výpočet součásti A, dle tab. 2, viz kap. 3. 4

$$\rho_1 = (1 + 0,41 \cdot 1) = 1,41 \text{ mm}$$

$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 1,41 \cong 2,22 \text{ mm}$$

$$l_{o1} = l_{o2} = l_{o3} = l_{o4}$$

$$l_{cA} = 4 \cdot 2,22 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 16 + 150 = 230,88 \cong 231 \text{ mm}$$

Experimentální výpočet součásti A, dle tab. 3, viz kap. 3. 4

$$\rho_1 = (1 + 0,42 \cdot 1) = 1,42 \text{ mm}$$

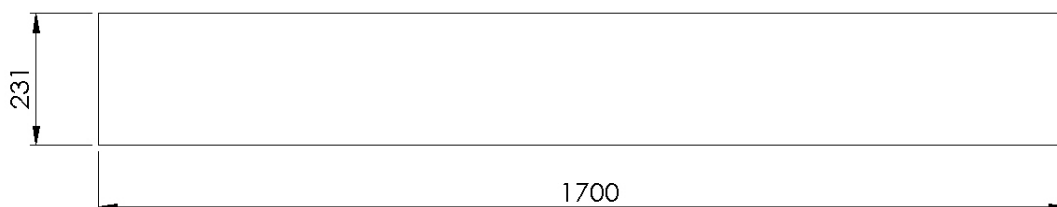
$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 1,42 \cong 2,23 \text{ mm}$$

$$l_{o1} = l_{o2} = l_{o3} = l_{o4}$$

$$l_{cA} = 4 \cdot 2,23 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 16 + 150 = 230,92 \cong 231 \text{ mm}$$

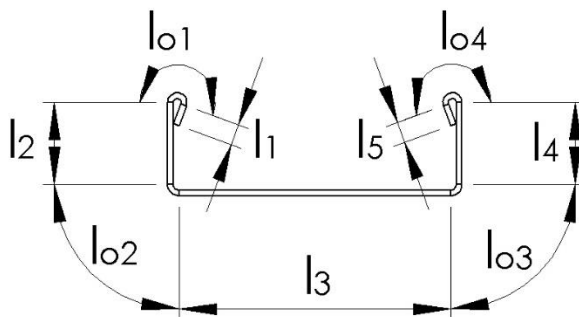
Výpočtovým experimentem jsme došli k závěru, že výsledky rozvinuté délky navrhované součásti se liší pouze o 0,04 mm. Tyto rozdíly jsou zanedbatelné vzhledem k provedenímu zaokrouhlení, tudíž není třeba brát zřetel na odlišné hodnoty v tabulkách 2. a 3. pro další výpočty.

Velikost rozvinuté délky součásti A je 231 x 1 700 mm, viz obr. 28.



Obr. 28 Rozvinutá délka součásti A

4.2.2 Výpočet rozvinuté délky součásti B (obr. 29)



Obr. 29 Délky součásti B

$$l_1 = l_5 = 3,77 \text{ mm}$$

$$l_2 = l_4 = 14,5 \text{ mm}$$

$$l_3 = 48 \text{ mm}$$

$$R_o = 1 \text{ mm}$$

$$R_1 = 0,7 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\gamma = 200^\circ - \text{měřeno ze solidworks}$$

$$\rho_2 = (0,7 + 0,39 \cdot 1) \cong 1,09 \text{ mm}$$

$$l_{o2} = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 1,41 \cong 2,22 \text{ mm}$$

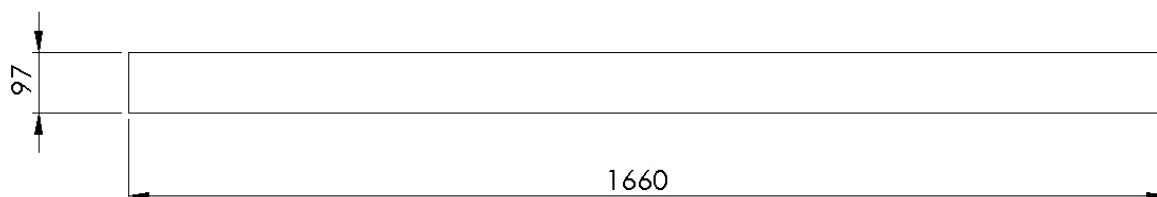
$$l_{o2} = l_{o3}$$

$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot 200}{180} \cdot 1,09 \cong 3,81 \text{ mm}$$

$$l_{o1} = l_{o4}$$

$$l_{cB} = 2 \cdot 3,77 + 2 \cdot 14,5 + 2 \cdot 2,22 + 2 \cdot 3,81 + 48 = 96,6 \cong 97 \text{ mm}$$

Velikost rozvinuté délky součásti B je 97 x 1 660 mm, viz obr. 30.



Obr. 30 Rozvinutá délka součásti B

4.3 Nástřihový plán

Cílem je umístění součásti na výchozí polotovar co možná nejvhodněji. Může jim být buď tabule plechu, nebo svitek. Nejběžnější rozměry tabule plechu jsou 1 000 x 2 000 mm, 1 250 x 2 500 mm, 1 500 x 3 000 mm, různých tloušťek. Svitek plechu musí být po rozvinutí nejprve rovnán mezi válci a potom stříhán na tabule požadovaných rozměrů dle přání zákazníka. Nástřihový plán určuje počet kusů výstřižků, jejich rozměry, hmotnost a množství odpadu. Odpad je nedílnou součástí stříhání. Pro každou součást se standardně zhotovuje samostatný nástřihový plán. Jakožto bude součást vystřihována na kombinovaném stroji, kde pracovní prostor má rozměry 2 585 x 1 280 mm, reálné využití je pouze pro tabule plechu velikosti 1 000 x 2 000 mm a 1 250 x 1 500 mm.

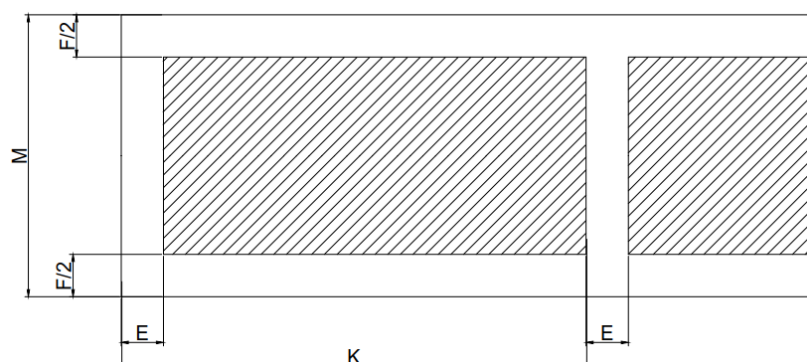
4.3.1 Stanovení přepážky a okraje

Přepážky mezi součástmi E a okraje pásů F se určují odečtem z grafu pro přímý typ stříhu s přepážkou, viz příloha 2. Vyráběná součást je složena ze dvou částí. Žlab A a stínící přepážka B. Obě části jsou obdélníkového tvaru a postupně lze odečíst hodnoty.

a) rozměry 231 x 1700 mm => $E_4 = 4$ mm, $F_4 = 9$ mm

b) 97 x 1660 mm => $E_4 = 4$ mm, $F_3 = 7$ mm.

➤ Výpočet velikosti pásu M a kroku K pro součást A (obr. 31)



Obr. 31 Velikost pásu M a kroku K

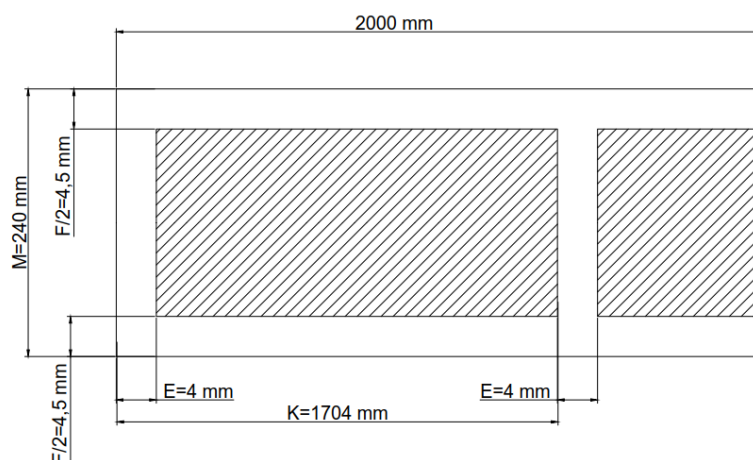
$$K = E_4 + D \quad (4.1)$$

$$K = 4 + 1700 = 1704 \text{ mm}$$

$$M = F_4 + D \quad (4.2)$$

$$M = 9 + 231 = 240 \text{ mm}$$

Výsledná velikost pásu plechu součásti A (obr. 32):



Obr. 32 Velikost pásu plechu M a kroku K součásti A

➤ Výpočet hodnoty přepážky odpadu M a K pro součást B:

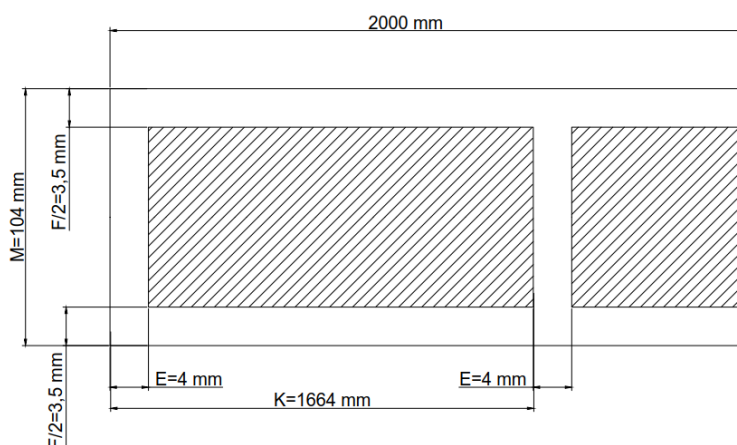
$$K = E_4 + D, \text{ viz 4.1}$$

$$K = 4 + 1660 = 1664 \text{ mm}$$

$$M = F_3 + D, \text{ viz 4.2}$$

$$M = 7 + 97 = 104 \text{ mm}$$

Výsledná velikost pásu plechu součásti B (obr. 33):



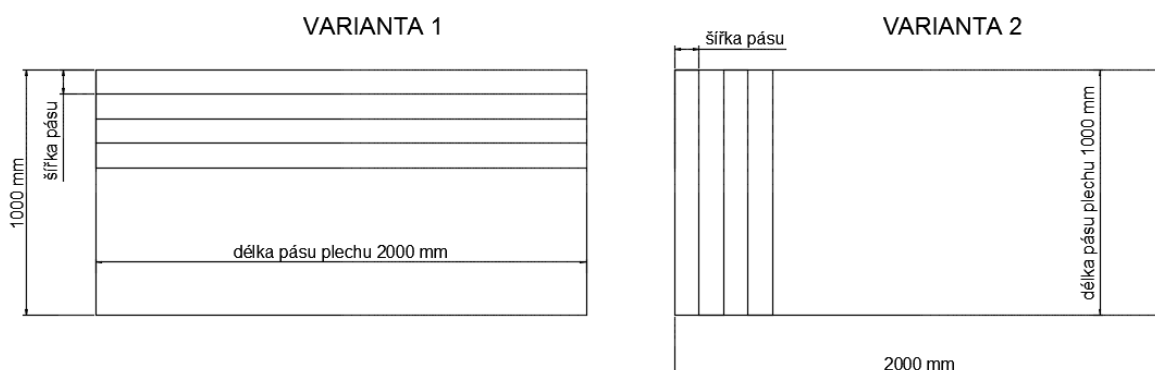
Obr. 33 Velikost pásu plechu M a kroku K součásti B

4.3.2 Umístění výstřížků na pásy plechu

Pro dobré ekonomické využití tabule plechu je potřeba navrhnout na jakou a jak na tabuli plechu součást správně umístit.

a) Plech 1 000 x 2 000 mm

V našem případě lze použít pro každou součást 2 varianty. Lze uvažovat pás plechu o délce 1 000 mm, nebo 2 000 mm, viz obr. 34.



Obr. 34 Délka pásu plechu 1 000 x 2 000 mm

- **Součást A, varianta 1**

Počet celých pásů z 1 tabule pro součást A

$$P_{\text{pásů } A} = \frac{\text{šířka tabule}}{\text{šířka pásu } M} [ks] \quad (4.3)$$

$$P_{\text{pásů } A} = \frac{1000}{240} = 4,16 \cong 4 ks$$

Počet výstřížků z pásu

$$P_{\text{výstř. } A} = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku } K} [ks] \quad (4.4)$$

$$P_{\text{výstř. } A} = \frac{2000}{1704} = 1,17 \cong 1 ks$$

Počet výstřížků z tabule

$$P_{\text{výstř. z tab. } A} = P_{\text{pásu}} \cdot P_{\text{výstř.}} [ks] \quad (4.5)$$

$$P_{\text{výstř. z tab. } A} = 4 \cdot 1 = 4 ks$$

- **Součásti A, varianta 2**

Kvůli rozměrům nelze provést

- **Součást B, varianta 1**

Počet celých pásů z 1 tabule

$$P_{\text{pásů } B} = \frac{1000}{104} = 9,6 \cong 9 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z pásu

$$P_{\text{výstř. } B} = \frac{2000}{1664} = 1,2 \cong 1 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z tabule

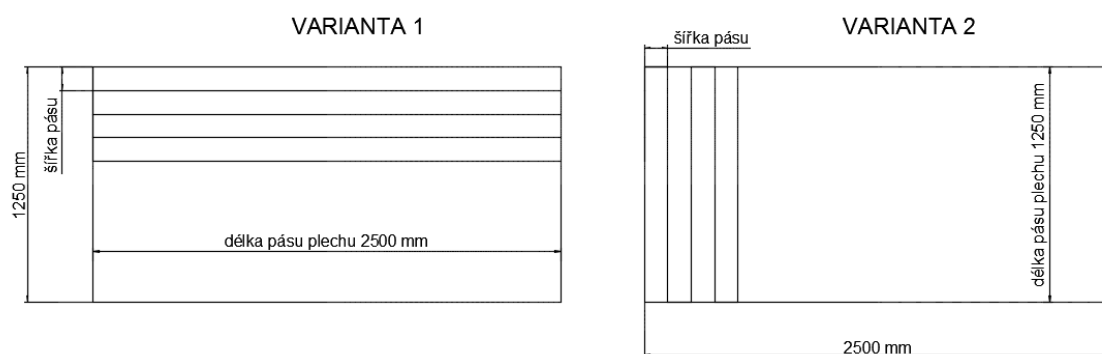
$$P_{\text{výstř. z tab. } B} = 9 \cdot 1 = 9 \text{ ks}$$

- **Součást B, varianta 2**

Kvůli rozměrům nelze provést

b) Plech 1 250 x 2 500 mm

V našem případě lze použít pro každou součást 2 varianty. Lze uvažovat pás plechu o délce 1 250 mm, nebo 2 500 mm, viz obr. 35.



Obr. 35 Délka pásu plechu 1 250 x 2 500 mm

- **Součást A, varianta 1**

Počet celých pásů z 1 tabule A

$$P_{\text{pásů } A} = \frac{1250}{240} = 5,21 \cong 5 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z pásu

$$P_{\text{výstř. } A} = \frac{2500}{1704} = 1,47 \cong 1 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z tabule

$$P_{\text{výstř. z tab. } A} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ ks}$$

- **Součást A, varianta 2**

Kvůli rozměrům nelze provést

- **Součást B, varianta 1**

Počet celých pásů z 1 tabule

$$P_{\text{pásů } B} = \frac{1000}{104} = 12,02 \cong 12 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z pásu

$$P_{\text{výstř. } B} = \frac{2000}{1664} = 1,5 \cong 1 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z tabule

$$P_{\text{výstř. z tab. } B} = 12 \cdot 1 = 12 \text{ ks}$$

- **Součást B, varianta 2**

Kvůli rozměrům nelze provést

4.3.3 Ekonomické využití materiálu

➤ **Využití plechu 1 000 x 2 000 mm pro součást A**

Plocha jednoho výstřížku

$$S_{\text{výstř. } A} = a \cdot b [m^2] \quad (4.6)$$

$$S_{\text{výstř. } A} = 1700 \cdot 231 = 0,3927 \text{ m}^2$$

Plocha všech výstřížků

$$S_{\Sigma \text{výstř. } A} = P_{\text{výstř. z tab.}} \cdot S_{\text{výstř.}} [m^2] \quad (4.7)$$

$$S_{\Sigma \text{výstř. } A} = 4 \cdot 0,3927 = 1,5708 \text{ m}^2$$

Maximální využití jedné tabule plechu

$$\eta_{\text{max. využití } A} = \frac{1,5708}{2} \cdot 100 = 78,54 \% \quad (4.8)$$

➤ **Využití plechu 1 000 x 2 000 mm pro součást B**

Plocha jednoho výstřížku

$$S_{\text{výstř. } B} = 1660 \cdot 97 = 0,16102 \text{ m}^2$$

Plocha všech výstřížků

$$S_{\Sigma \text{výstř. } B} = 9 \cdot 0,16102 = 1,4492 \text{ m}^2$$

Maximální využití jedné tabule plechu

$$\eta_{\text{max. využití } B} = \frac{1,4492}{2} \cdot 100 = 72,5 \%$$

➤ **Využití plechu 1 250 x 2 500 mm pro součást A**

Plocha jednoho výstřížku

$$S_{výstř.A} = 1700 \cdot 231 = 0,3927 \text{ m}^2$$

Plocha všech výstřížků

$$S_{\Sigma výstř.A} = 5 \cdot 0,3927 = 1,9635 \text{ m}^2$$

Maximální využití tabule plechu

$$\eta_{\text{max.využití A}} = \frac{1,9635}{3,125} \cdot 100 = 62,83 \%$$

➤ **Využití plechu 1 250 x 2 500 mm pro součást B**

Plocha jednoho výstřížku

$$S_{výstř.B} = 1660 \cdot 97 = 0,161102 \text{ m}^2$$

Plocha všech výstřížků

$$S_{\Sigma výstř.B} = 12 \cdot 0,161102 = 1,93224 \text{ m}^2$$

Maximální využití tabule plechu

$$\eta_{\text{max.využití B}} = \frac{1,93224}{3,125} \cdot 100 = 61,83 \%$$

Tab. 6 Využití materiálu

A	1 000 x 2 000 mm	1 250 x 2 500 mm
P_{pásů} [ks]	4	5
P_{výstř.} [ks]	1	1
P_{výstř.z tab.} [ks]	4	5
η_{max.využití} [%]	78,54	62,83
B	1 000 x 2 000 mm	1 250 x 2 500 mm
P_{pásů} [ks]	9	12
P_{výstř.} [ks]	1	1
P_{výstř.z tab.} [ks]	9	12
η_{max.využití} [%]	72,5	61,83

Na výrobu obou součástí bude dle vyhodnocení ekonomického využití použit plech velikosti 1 000 x 2 000 mm, viz tab. 6.

4.4 Výpočet stříhu (viz 3.5) [28], [29]

$$\tau_s \cong 0,8 \cdot 320 = 256 \text{ MPa}$$

a) Výpočet střížné síly (viz 3.7)

$$S_1 = 2 \cdot (231 + 1700) \cdot 1 = 3862 \text{ mm}$$

$$F_{s1} = 1,3 \cdot 3862 \cdot 256 = 1285273,6 \text{ N} \cong 1285,27 \text{ kN}$$

$$S_2 = 2 \cdot (97 + 1660) \cdot 1 = 3514 \text{ mm}$$

$$F_{s2} = 1,3 \cdot 3514 \cdot 256 = 1169459,2 \text{ N} \cong 1169,46 \text{ kN}$$

$$S_3 = (\pi \cdot D + 2 \cdot c) \cdot s [N]$$

$$S_3 = (\pi \cdot 10 + 2 \cdot 30) \cdot 1 = 91,42 \text{ mm}$$

$$F_{s3} = 1,3 \cdot 91,42 \cdot 256 = 30423,2 \text{ N} \cong 30,42 \text{ kN}$$

Pro vystřihování vnějších obrysů součásti je potřebná maximální síla $F_{\max} = 1285,27 \text{ kN}$. Kvůli její velikosti bude navrženo řezání laserem.

b) Střížná práce pro děrování perforace

Pro dva razníky platí: $F_c = 30,42 \cdot 2 = 60,84 \text{ kN}$

$$A = 60846,4 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 30,42 \text{ J}$$

4.5 Výpočet ohybu [28], [29]

a) Úhel odpružení β (viz 3.14)

$$tg \beta = 0,375 \cdot \frac{8}{0,58 \cdot 1} \cdot \frac{200}{2,1 \cdot 10^5} = 4,93 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \beta = 0,2822^\circ = 0^\circ 16' 56''$$

b) Minimální poloměr (viz 3.17)

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ mm}$$

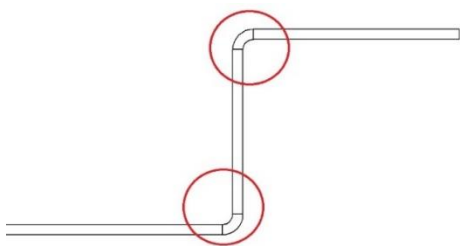
c) Maximální poloměr (viz 3.18)

$$R_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5}{200} - 1 = 524,5 \text{ mm}$$

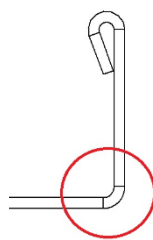
d) Ohybová síla (viz 3.22)

Výpočet ohybové síly součásti A na délce 1700 mm o úhel 90° (obr. 36)

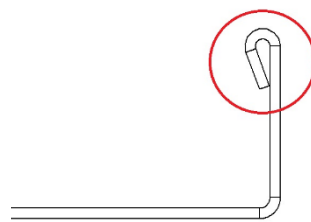
$$F_{ov1} = \frac{1700 \cdot 1^2 \cdot 200}{2 \cdot 1,42} \cdot tg \frac{90}{2} = 119,7 \text{ kN}$$



Obr. 36 Ohyb 90° součásti A



Obr. 37 Ohyb 90° součásti B



Obr. 38 Ohyb 200° součásti B

Výpočet ohybové síly součásti B na délce 1 660 mm o úhel 90° (obr. 37)

$$F_{ov2} = \frac{1660 \cdot 1^2 \cdot 200}{2 \cdot 1,42} \cdot \operatorname{tg} \frac{90}{2} = 116,9 \text{ kN}$$

Výpočet ohybové síly součásti B na délce 1 660 mm o úhel 200° (obr. 38)

$$F_{ov3} = \frac{1660 \cdot 1^2 \cdot 200}{2 \cdot 1,1815} \cdot \operatorname{tg} \frac{110}{2} = 200,7 \text{ kN}$$

e) Ohybová práce (viz 3.23)

$$A_{ov1} = \frac{1}{3} \cdot \frac{119700 \cdot 8}{1000} = 319,2 \text{ J}$$

$$A_{ov2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{116900 \cdot 8}{1000} = 311,7 \text{ J}$$

$$A_{ov3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{116900 \cdot 8}{1000} + 311,7 = 846,9 \text{ J}$$

$$A_{ovc} = A_{ov1} + A_{ov2} + A_{ov3} \text{ [J]}$$

$$A_{ovc} = 319,2 + 311,7 + 846,9 = 1477,8 \text{ J}$$

4.6 Volba stroje [30]

Pro výrobu kabelového žlabu byl navržen stroj Trumatic 6000 L od výrobce Trumpf. Jedná se o kombinovaný stroj pro řezání laserem a děrování pomocí děrovací hlavy s výměnnými razníky.

Dalším navrženým strojem je odjehlovací a brousící stroj Costa MD4. Tento stroj umožňuje odstranění ostrých hran, zaoblení hran a sjednocení povrchu materiálu.

Pro ohyb částí kabelového žlabu byl zvolen ohraňovací lis od výrobce Trumpf - Trumabend V130 a ohybnice velikosti 8 mm.

Informace k navrženým strojům viz příloha 3.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Technické a ekonomické hodnocení provádíme kvůli posouzení efektivnosti výroby součástí z navrženého materiálu vzhledem k počtu požadovaným kusů.

5.1 Technické hodnocení

Kombinovaný stroj pro děrování a řezání laserem, je schopen vyprodukovat maximální děrovací sílu 220 kN. Pro naši výrobu perforování bude stačit pro práci dvou razníků síla 60,84 kN, tudíž vyhovuje.

Tloušťka plechu, ze kterého bude vyrobena součást, vyhovuje stroji pro řezání laserem, kdy stroj zvládá řezat tloušťku materiálu do 8 mm.

Síla navrženého lisu je 130 tun = 130 000 kg. Ze vzorce $F = m \cdot g = 130000 \cdot 10$ plyne, že maximální síla lisu 1 300 000 N = 1 300 kN. Jakožto bude potřeba pro ohyb sílu 200,7 kN, lis vyhovuje.

Zvolené stroje i nástroje vyhovují požadavkům na výrobu.

5.2 Ekonomické hodnocení

5.2.1 Spotřeba materiálu

a) Hmotnost jedné tabule plechu 1000 x 2000 mm, tl. 1 mm

$$m_1 = a \cdot b \cdot s \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (5.1)$$

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$$

$$m_1 = 2 \cdot 1 \cdot 0,001 \cdot 7800 = 15,6 \text{ kg}$$

b) Potřebný počet tabulí pro součást A

$$P_{tab.A} = \frac{\text{požadovaný počet ks}}{\text{počet ks/tabule}} \text{ [ks]} \quad (5.2)$$

$$P_{tab.A} = \frac{5000}{4} = 1250 \text{ ks}$$

c) Potřebný počet tabulí pro součást B

$$P_{tab.B} = \frac{5000}{8} = 625 \text{ ks}$$

d) Celkový počet tabulí

$$P_{tab.c} = P_{tab.A} + P_{tab.B} \text{ [ks]} \quad (5.3)$$

$$P_{tab.c} = 1875 \text{ ks}$$

e) Hmotnost všech tabulí

$$m_{c1,2} = m_1 \cdot P_{tab.A,B} \text{ [kg]} \quad (5.4)$$

$$m_{c1} = 15,6 \cdot 1250 = 19500 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
m_{c2} &= 15,6 \cdot 625 = 9750 \text{ kg} \\
m_c &= m_{c1} + m_{c2} \text{ [kg]} \\
m_c &= 19500 + 9750 = 29250 \text{ kg}
\end{aligned}
\tag{5.5}$$

5.2.2 Hmotnost odpadu

$$m_{odp.} = m_c \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) = 4516,2 \text{ kg} \tag{5.6}$$

$$m_{odp.1} = 19500 \cdot (1 - 0,7854) = 4184,7 \text{ kg}$$

$$m_{odp.2} = 9750 \cdot (1 - 0,7250) = 2681,25 \text{ kg}$$

$$m_{odp.cp} = m_{odp1} + m_{odp2} \text{ [kg]} \tag{5.7}$$

$$m_{odp.cp} = 4184,7 + 2681,25 = 6865,95 \text{ kg}$$

5.2.3 Odpad způsobený děrováním

a) Plocha jednoho výstřížku

$$S_{výstř.perf.} = \frac{\pi D^2}{4} + D \cdot c = 0,00037854 \text{ m}^2 \tag{5.8}$$

Součást A má 198 děr. Z toho plyne, že celková plocha děr bude $0,00037854 \cdot 198 = 0,07495 \text{ m}^2$.

Součást B má 66 děr. Jejich celková plocha bude $0,00037854 \cdot 66 = 0,02498 \text{ m}^2$.

b) Hmotnost součástí A

$$m_A = 0,231 \cdot 1,7 \cdot 0,001 \cdot 7800 = 3,06 \text{ kg}$$

c) Hmotnost všech potřebných součástí A

$$m_{cA} = 3,06 \cdot 5000 = 15300 \text{ kg}$$

d) Hmotnost součástí B

$$m_B = 0,097 \cdot 1,66 \cdot 0,001 \cdot 7800 = 1,26 \text{ kg}$$

e) Hmotnost všech potřebných součástí B

$$m_{cB} = 1,26 \cdot 5000 = 6300 \text{ kg}$$

f) Výpočet odpadu po děrování

$$\eta_A = \frac{0,07495}{0,3927} = 0,1909$$

$$m_{odp.A} = 15300 \cdot 0,1909 = 2920,77 \text{ kg}$$

$$\eta_B = \frac{0,02498}{0,16102} = 0,1551$$

$$m_{odp.B} = 6300 \cdot 0,1551 = 977,13 \text{ kg}$$

$$m_{odp.cs} = 2920,77 + 977,13 = 3897,9 \text{ kg}$$

g) Výpočet celkového odpadu při výrobě

$$m_{odp.c} = m_{odp.cp} + m_{odp.cs}$$

$$m_{odp.c} = 6865,95 + 3893,88 = 10763,85 \text{ kg}$$

Tab. 7 Spotřeba materiálu

	A	B
P_{tab.a,b} [ks]	1 250	625
P_{tab.c} [kg]	1 875	
m_l [kg]	15,6	
m_c [kg]	29 250	
m_{odp.c} [kg]	10 763,85	

Výpočtem jsme došli k závěrům, že spotřeba tabulí bude 1 875 ks o celkové hmotnosti 29 250 kg a celková hmotnost odpadu bude 10 763,85 kg, viz tab. 7.

5.2.4 Náklady na materiál

Náklady na materiál pro výrobu jedné výrobní série N_m jsou závislé na množství spotřebovaného materiálu m_c a jeho ceně. Ty lze jednoduše vypočítat odečtením ceny celkového materiálu C_s a částky vrácené za odpad C_o . Cena pozinkovaného plechu navržené součásti $k_s = 24,40 \text{ Kč/kg}$ bez DPH, byla zjištěna u společnosti Alfun dne 27. 2. 2017, která dodává široký hutní sortiment po celé Evropě. Výkupní cena odpadního materiálu byla zjištěna u firmy Kovokom šrot dne 27. 2. 2017 a je přibližně $l_s = 3,40 \text{ Kč/kg}$.

$$N_m = C_s - C_o \text{ [Kč]} \quad (5.9)$$

$$C_s = m_c \cdot k_s \text{ [Kč]} \quad (5.10)$$

$$C_s = 29250 \cdot 24,4 = 713700 \text{ Kč}$$

$$C_o = m_{odp.} \cdot l_s \text{ [Kč]} \quad (5.11)$$

$$C_o = 10763,85 \cdot 3,4 = 36597,09 \text{ Kč}$$

$$N_m = 713700 - 36597,09 = 677102,91 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na spotřebovaný materiál budou přibližně 677 102,91 Kč.

- **Náklady na materiál pro výrobu jednoho kabelového žlabu**

$$N_1 = \frac{N_m}{Q} [\text{Kč}] \tag{5.12}$$

$$N_1 = \frac{677102,91}{5000} = 135,42 \text{ Kč}$$

Výpočtem jsme došli k závěru, že čisté náklady na materiál jednoho kabelového žlabu budou přibližně 135 Kč bez DPH.

6 ZÁVĚRY

V této bakalářské práci byla navržena součást s názvem kabelový žlab, který je součástí nízkonapěťového rozváděče, v požadovaném počtu 5 000 kusů.

Ze dvou variant provedení, které jsou k dispozici, byl vybrán ten nejvhodnější, kvůli malému realizačnímu prostoru v rozváděči.

Pro takhle navrženou součást byla vybrána vhodná technologie výroby vzhledem ke tvaru a rozměrům, a to děrování, řezání laserem, ohýbání na ohraňovacím lisu a spojování součástí pomocí metody Clinching.

Byl proveden experimentální výpočet rozvinuté délky součásti pomocí tabulek 2. a 3. (viz kap. 3), určující hodnotu koeficientu posunutí neutrální osy „x“. V konečném výsledku byl rozdíl mezi vypočítanými hodnotami tak malý, že nebylo třeba s rozdílnými tabulkami dále počítat.

Pro výrobu byl navržen pozinkovaný plech jakosti DX52D+Z275MB, materiál tř. 11 321 kvůli dobrým tažným vlastnostem, kvalitě a ceně o tloušťce 1 mm.

Byl udělán výpočet pro zjištění vhodné velikosti tabule plechu vzhledem k dobrému využití materiálu. Pro náš případ je nejvýhodnější tabule 1 000 x 2 000 mm, s více jak 70% využitím materiálu (viz tab. 6).

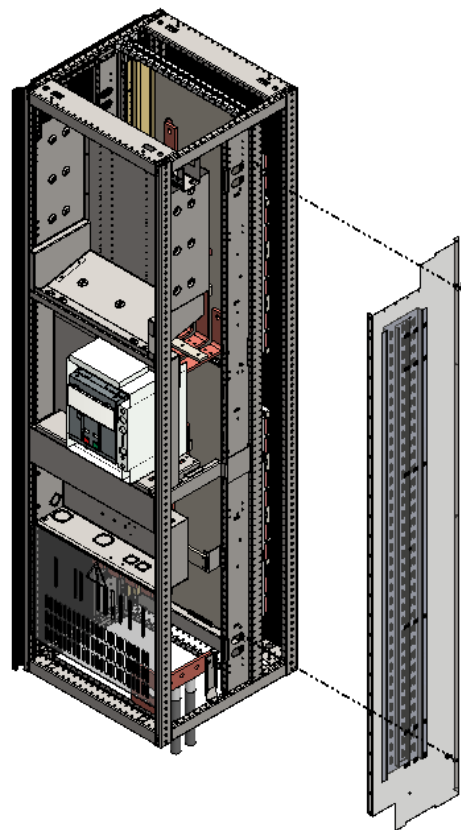
Technologické výpočty vedli k tomu, že síla potřebná pro obvodový stříh je tak velká, že je nutné použít dělení materiálu pomocí laseru. Pro dělení a děrování byl zvolen kombinovaný stroj Trumatic 6000L od výrobce Trumpf. Na očištění a odjehlení brousící stroj Costa MD4, a pro ohyb ohraňovací lis TrumaBend V130 s ohybnicí velikosti 8 mm.

Všechny navržené stroje mají odpovídající parametry pro výrobu naší součásti. V oblasti strojírenství patří mezi jedny z nejpoužívanějších a nejvíce dostupných na celosvětovém trhu.

Zjištěním aktuální hodnoty potřebného materiálu a hodnoty za vrácený odpad, byla vypočtena přibližná cena pro jeden kabelový žlab 135 Kč bez DPH.

K projektu byly vypracovány dílenské výkresy a sestava součástí, který je předmětem přílohy.

Touto bakalářskou prací byly naplněny všechny podmínky a požadavky dané firmou ABB tak, aby mohli zařadit tento kabelový žlab do standardní výroby jako součást komplexu nízkonapěťového rozváděče, viz obr. 39.



Obr. 39 Konečné umístění kabelového žlabu

Seznam použitých zdrojů [16]

1. ABB [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://new.abb.com/cz>
2. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Stříhání. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010, **2010**(6) [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
3. PAUL, Miroslav. *Bezpečnostní předpisy III: V1b* [online]. In: . 2003 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://school.webz.cz/1/DATs/16.pdf>
4. NOVOTNÝ, Michal. Clinching přináší možnosti spojování plechů za studena. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2010, **2010**(11) [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/clinching-prinasi-moznosti-spojovani-plechu-za-studena.html>
5. CNC řezání laserem: 10 výhod, které přináší. *Factory Automation* [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/cnc-rezani-laserem-10-vyhod-ktere-prinasi/>
6. ECKOLD [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://eckold.com/en-cz/>
7. ČSN 33 2000-5-52, ED. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí: Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. ČR: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
8. *ESP Clinching Joining System* [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://espclinch.com/home.aspx>
9. Gumová lemovka. In: *ETOVAR.cz* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://etovar.cz/cs/jawa-cz-250-350-kyvacka/3700-gumova-lemovka-masky-jawa-cz-05-m.html>
10. ZATLOUKAL, Petr. Laserové dělení materiálu. In: *Welding.cz* [online]. 2007 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://welding.cz/laser/deleni.htm>
11. BAREŠ, Karel. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
12. VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2010, 204 s. : barev. il., grafy, tabulky. ISBN 9788070807415.
13. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011, xii, 331 s. : il. ISBN 9781107004528.
14. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. : barev. il. ; 25 cm. ISBN 9788086706191.
15. Plechové kabelové žlaby. In: *TOP servis Brno* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: http://www.topservisbrno.cz/sites/default/files/nks_-_plechove_zlaby_1.pdf

16. *PRIMO: ODBORNÉ ZDROJE NA DOSAH* [online]. VUT v Brně, 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://primo.lib.vutbr.cz>
17. Přednost lehkých karoserií v automobilovém průmyslu. In: *Automobil Industry* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://infocube.cz/cs/prednost-lehkych-karoserii-v-automobilovem-prumyslu/>
18. Rivets and Installation Tools. In: *Marshall Sales, Inc.* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: http://marshallsales.com/pr_rivets.php
19. SERIÁL NA TÉMA LASERY - LASEROVÉ ŘEZÁNÍ (LASER CUTTING). In: *Lasery a optika* [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-laserylaserove-rezani-laser-cutting-129>
20. Sheet Metal Cutting: (Shearing). In: *Custompart.net* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>
21. Sheet Metal Punches & Dies. In: *TOX PRESSOTECHNIK* [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.tox-us.com/products/clinchng-tools/toolsets/>
22. Spojování plechů protlačováním spojů. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2001, **2001**(9) [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/spojovani-plechu-protlacovanim-spoju.html>
23. KVAPIL, Ladislav a Wolfgang PFEIFFER. Spojování plechů tvářením za studena. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2011, **2011**(11) [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/spojovani-plechu-tvarenim-za-studena.html>
24. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. : il. ; 21 cm. ISBN 8071832448.
25. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5.*, upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, xiv, 927 s. : obr., tabulky. ISBN 9788073610814.
26. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
27. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. : il. ; 25 cm. ISBN 9788022732420.
28. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3.* vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. : obr., tabulky, grafy. ISBN 9788021447479.
29. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 8021423749.
30. TruMark série 6000. *TRUMPF* [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/laser/znacici-laser/trumark-serie-6000/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Legenda
AC	[V]	Střídavé napětí
A_o	[J]	Výpočet ohybové práce
A_s	[J]	Střižná práce
C_o	[Kč]	Cena vrácená za odpad
C_s	[Kč]	Cena celkového materiálu
D	[mm]	Průměr
DC	[V]	Stejnoseměrné napětí
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
E_i	[mm]	Přepážky mezi součástmi
F_c	[N]	Celková síla
F_i	[mm]	Okraje pásů
F_o	[N]	Síla pro vytvoření ohybu tvaru V
F_p	[N]	Přidržovací síla
F_s	[N]	Střižná síla
F_v	[N]	Vyhazovací síla
h	[mm]	Výška vtláčné hrany
k_s	[Kč]	Cena pozinkovaného plechu/kg
k	[-]	Součinitel určující polohu neutrální plochy
K	[mm]	Velikost kroku
l_s	[Kč]	Výkupní cena odpadního materiálu/kg
l	[mm]	Obvod střižných ploch
l_c	[mm]	Celková rozvinutá délka
L_h	[mm]	Délka vtláčné hrany
l_o	[mm]	Délka úseku ohybu v neutrální ploše
l_i	[mm]	Délka i-tého rovného úseku
l_{oj}	[mm]	Délka neutrální vrstvy v j-tém místě ohybu
l_v, l_u	[mm]	Vzdálenosti mezi opěrami ohybnice
m	[kg]	Hmotnost
M	[mm]	Velikost pásu
m_c	[kg]	Množství spotřebovaného materiálu
$m_{odp.}$	[kg]	Hmotnost odpadu
n	[-]	Koeficient kvality nástroje

N_1	[ks]	Náklady na mat. pro výrobu jedné součásti
N_m	[Kč]	Náklady na mat. pro výrobu jedné výrobní série
P_{cv}	[mm ²]	Celkový počet výstřížků
$P_{pásů}$	[ks]	Počet celých pásů z 1 tabule
$P_{tab.}$	[ks]	Potřebný počet tabulí
$P_{výstř.}$	[ks]	Počet výstřížků z pásu
$P_{výstř.z\ tab.}$	[ks]	Počet výstřížků z tabule
Q	[ks]	Požadovaný počet vyráběných součástí
R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
R_{min}	[mm]	Minimální poloměr ohybu
R_{max}	[mm]	Maximální poloměr ohybu
R_o	[mm]	Poloměr ohybu
s	[mm]	Tloušťka polotovaru
S	[mm ²]	Střížná plocha
S_t	[mm ²]	Plocha tabule plechu
S_v	[mm ²]	Plocha jednoho výstřížku
$S_{výstř.}$	[mm ²]	Plocha jednoho výstřížku
$S_{\Sigma v}$	[mm ²]	Plocha všech výstřížků
$S_{\Sigma výstř.}$	[mm ²]	Plocha všech výstřížků
$tg\beta$	[°]	Úhel odpružení β pro ohyb
x	[mm]	Koeficient posunutí neutrální osy
α	[°]	Úhel ohybu
β	[°]	Úhel odpružení
γ	[°]	Úhel úseku ohybu
σ	[MPa]	Napětí
ε	[—]	Rovinný stav deformace
λ	[—]	Součinitel plnosti střížného silového diagramu
$\eta_{max.využití}$	[—]	Maximální využití materiálu
ρ	[mm]	Poloměr neutrální plochy
τ_{max}	[MPa]	Maximální smykové napětí
τ_s	[MPa]	Střížné napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Kabelový žlab	8
Obr. 2 Rozvaděč MNS	10
Obr. 3 Kabelové žlaby	10
Obr. 4 Příklad perforace kabelových žlabů	10
Obr. 5 Současný stav s trubkami	11
Obr. 6 Varianta a)	11
Obr. 7 Varianta b)	12
Obr. 8 Nýtování	13
Obr. 9 Spoj pomocí tvářecího šroubu	13
Obr. 10 Bodové svařování	14
Obr. 11 Princip stříhání	15
Obr. 12 Tvar střížné plochy	15
Obr. 13 Průběh stříhu	18
Obr. 14 Děrování	18
Obr. 15 Řezání laserem	19
Obr. 16 Princip laseru	19
Obr. 17 Ohýbání	21
Obr. 18 Volný ohyb, ohyb ve tvaru V, ohyb ve tvaru U	21
Obr. 19 Schéma ohybu ve tvaru V, U	22
Obr. 20 Výpočet rozvinuté délky	23
Obr. 21 Nástroje clinching	24
Obr. 22 Princip metody clinching	24
Obr. 23 Součást A, B	26
Obr. 24 Umístění clinching spojů	26
Obr. 25 Přípravek na vystředění děr	27
Obr. 26 Lemovka černá	27
Obr. 27 Délky součásti A	27
Obr. 28 Rozvinutá délka součásti A	28
Obr. 29 Délky součásti B	29
Obr. 30 Rozvinutá délka součásti B	29
Obr. 31 Velikost pásu M a kroku K	30
Obr. 32 Velikost pásu plechu M a kroku K součásti A	31
Obr. 33 Velikost pásu plechu M a kroku K součásti B	31
Obr. 34 Délka pásu plechu 1 000 x 2 000 mm	32
Obr. 35 Délka pásu plechu 1 250 x 2 500 mm	33
Obr. 36 Ohyb 90° součásti A	37
Obr. 37 Ohyb 90° součásti B	37
Obr. 38 Ohyb 200° součásti B	37
Obr. 39 Konečné umístění kabelového žlabu	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Divize ABB	9
Tab. 2 Hodnota koeficientu posunutí neutrální osy „x“, upraveno podle [27].....	23
Tab. 3 Hodnota koeficientu posunutí neutrální osy „x“, upraveno podle VUT [28].....	23
Tab. 4 Nástroje na clinching	25
Tab. 5 Tvar spoje	25
Tab. 6 Využití materiálu	35
Tab. 7 Spotřeba materiálu	40

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Obecné informace pro ukládání kabelů do kabelových žlabů

Příloha 2 – Tabulka pro určení okraje a můstku pro stříhání

Příloha 3 – Navrhnuté stroje a nástroje

Příloha 1

Obecné informace pro ukládání kabelů do kabelových žlabů

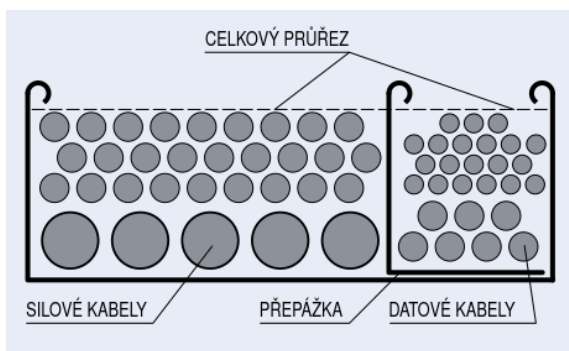
Systém lze skládat z rovných dílů, spojek, odboček, kolen, redukčních dílů, T-kusů, křížů, stínících přepážek, spojovacích a nosných prvků.

Silnoproudé kabely nejsou ve žlabech tak dobře ochlazovány jako na roštích, a proto je nutné, aby projektant provedl korekci proudového zatížení.

Výběr kabelového žlabu závisí především na správném návrhu průřezu, materiálu a jeho nosnosti.

Před volbou průřezu žlabu je potřeba zjistit množství a druh kabelů, které budou uloženy. Podle počtu druhů kabelů je volen patřičný počet přepážek. Kabely lze ve žlabu ukládat do vrstev, je však nutné přihlídnout k zajištění jejich dostatečného chlazení viz obrázek

Kabelové žlaby se vyrábí standardně z pozinkovaného nebo nerezového plechu. Z důvodu zvýšené ochranné vrstvy se používá ocelový plech s povrchovou úpravou žárovým zinkováním ponořením do zinkové lázně. Výrobek je zhotoven z ocelového plechu bez povrchové úpravy a následně je ponorem do zinkové lázně opatřen ochrannou vrstvou zinku.



Nosnost žlabů zajišťuje především tloušťka materiálu, způsob perforace, prolisy a lemování.

Obr. Obecné rozmístění kabelů
v kabelovém žlabu

Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím je na celém systému kabelového žlabu zajištěna tím, že všechny díly trasy jsou spojeny pomocí šroubů, matic a vějířových podložek. Připojení trasy jako vodivého celku na ochrannou soustavu ve smyslu ČSN 33 0360 a vodivé připojení žlabu a víka, kvůli bezpečnosti práce, zajišťuje montážní organizace. Připojení ochranného vodiče musí být provedeno tak, aby zaručovalo spolehlivé a trvalé vodivé spojení - dle ČSN 33 0360. Jako ochranný vodič se používá měděné lanko s průřezem minimálně 1,5 mm² na konci opatřené mosaznými oky. Styčná plocha musí být minimálně 20 mm², délka vodiče musí být taková, aby nebránila odklopení víka.

Pro upevnění ochranného vodiče je nutné použít mosazný šroub se šestihrannou hlavou M6 x 12, mosaznou maticí M6, mosaznou podložku M6, pozinkovanou pružnou podložku M6 pro zachování kontaktního tlaku a zajištění šroubového spoje proti samovolnému uvolnění. Připojení ochranného vodiče ke žlabu se provádí v místě spojení žlabu a spojky. Lze využít jeden spojovací otvor pro šroub M6.

Různé druhy kabelů se od sebe oddělují z důvodu jejich odstínění. Způsob a provedení nám určuje norma ČSN 33 2000-5-52.

Vlastní kabelové systémy informační technologie řeší norma ČSN EN 50 173

Instalace rozvodů informační techniky řeší ČSN EN 50 174-1:01 (36 9071), ČSN EN 50 174-2 (36 9071).

Zásady instalace:

- Přesně specifikovat umístění kabelového příslušenství, nosné konstrukce a jejich upevnění.
- Kabely se instalují mezi koncové své body a jsou soustředěny v místech, odkud se provádí rozvod. V některých případech jsou koncové body sdruženy s aktivními nebo pasivními přenosovými zařízeními.
- Zachovat stínění v kabelových rozvodech i u zakončení kabelů pomocí stínících návleků.
- V kabelových prostorech je třeba pamatovat na dostatek místa pro doplňování systému.

Pro elektrické silové rozvody je shoda s ČSN 33 2000-4-41 a ČSN 33 2000-5-54.

Trasy napájení od zdroje až k samotným zařízením jsou vzájemně odděleny pro zařízení citlivá k rušení a zařízení rušení vyvolávající, přičemž oba zdroje musí být uzemněny v jednom společném bodě.

Zářivky a výbojky musí být od kabelů informační techniky (IT) alespoň 130 mm.

Z hlediska elektromagnetické kompatibility (EMC) se předepisují tyto požadavky:

- Mezi silovými kabely a kabely IT v případě použití stíněných kabelů se nevyžaduje oddělení, jestliže délka souběhu je menší než 35 m.
- Pro délku souběhu větší než 35 m platí vzdálenosti mezi kabely pro celou délku souběhu, až na konečných 15 m přívodu k zásuvce, viz tabulka.
- Jestliže jsou kabely instalovány v elektromagnetickém prostředí, ve kterém požadavky na vyzařování a na odolnost překračují ty, které jsou definovány v souborech ČSN EN 50 081 a ČSN EN 50 082, zajišťují se pro oddělení vzdálenosti od začátku do konce vedení. V závislosti na skutečném elektromagnetickém prostředí mohou být tyto vzdálenosti ještě větší. Vzdálenosti uvedené v tabulce se uplatňují pro páteřní rozvody po celé jejich délce.

Tab. Oddělení silových kabelů a kabelů informační techniky IT

Druh instalace	Vzdálenost mezi kabely [mm]		
	Bez oddělovací přepážky nebo s nekovovou přepážkou	Přepážka z hliníku	Přepážka z oceli
Nestíněné silové kabely a nestíněné kabely IT	200	100	50
Nestíněné silové kabely a stíněné kabely IT	50	20	5
Stíněné silové kabely a nestíněné kabely IT	30	10	2
Stíněné silové kabely a stíněné kabely IT	0	0	0

Vzdálenost mezi kabely musí být vymezena upevňovacími body, zarážkami, přepážkami nebo jiným způsobem, jinak se o kabelech předpokládá, že jsou v dotyku.

Pro kabely v lištách v jejich různých sousedících oddílech, se považuje za vzdálenost mezi kabely tloušťka oddělující přepážky.

Pokud je mezi kabely ještě jiný oddíl, považuje se za vzdálenost mezi kabely vzdálenost mezi přepážkami oddílů (pokud vzdálenost není zvětšena tím, že se kabely v určité poloze upevní).

Pro uložení kabelů se využívá stínících účinků kovových žlabů.

Silové kabely a kabely IT musí být ukládány do samostatných, dostatečně hlubokých, kovových žlabů, pokud možno s neperforovanými stěnami. Do jednoho žlabu mohou být společně uloženy silové kabely spolu s kabely pomocných obvodů – silové kabely při jedné straně žlabu a kabely pomocných obvodů při druhé straně, při dodržení určité vzdálenosti.

Do jednoho žlabu je možné uložit kabely IT a kabely citlivých obvodů (pro měření nebo ovládání přístrojů) za předpokladu, že jsou odděleny kovovou přepážkou. Kovové kryty žlabů je třeba spojit alespoň na začátku a na konci se žlabem.

Pro uložení kabelů je možno využít také kovových profilů U, L (konstrukce budovy). Kabely se ukládají do žlabů těchto profilů, které mají výborné stínící účinky a jsou obvykle dobře uzemněné.

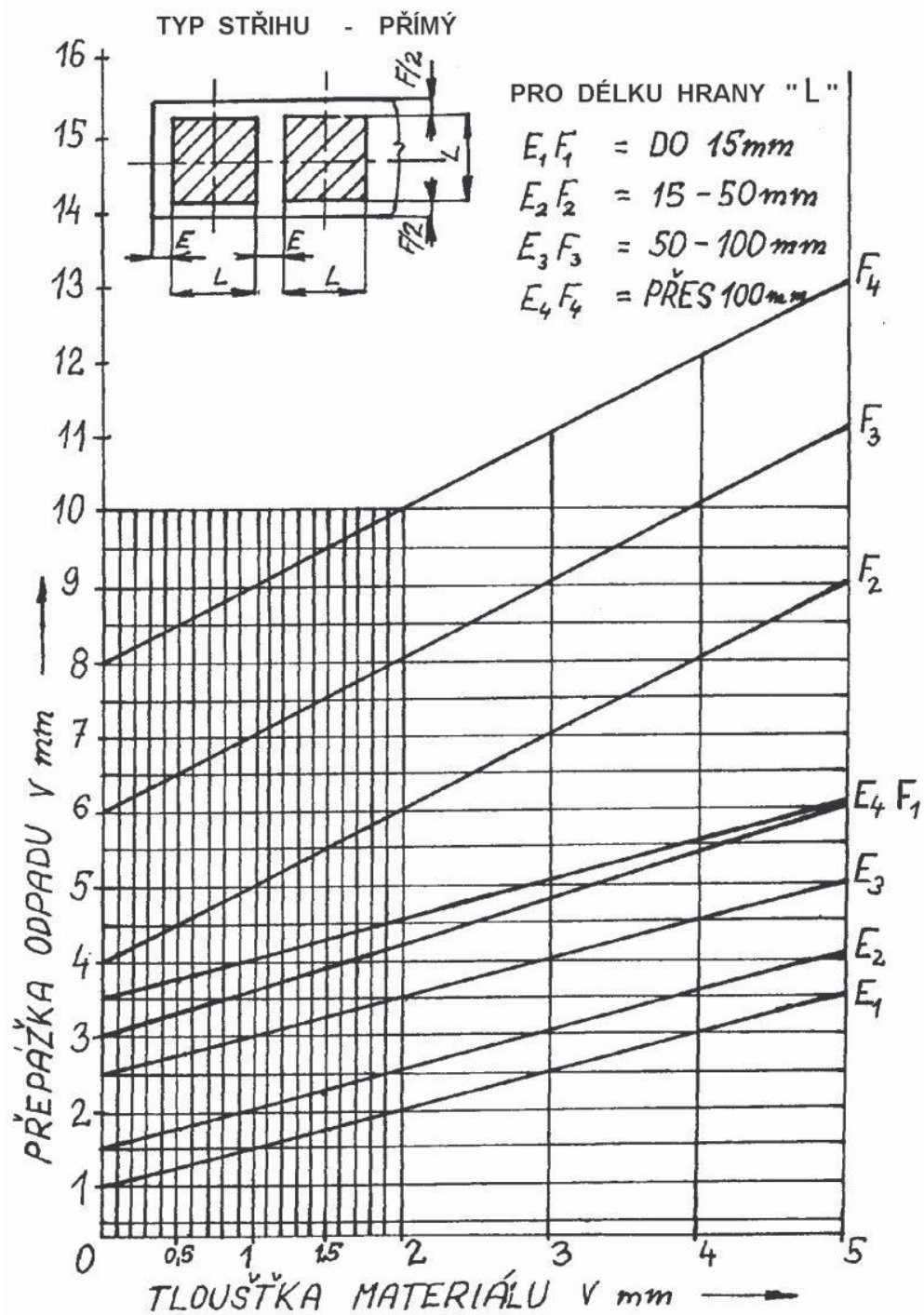
Při použití nestíněných kabelů, se doporučuje pro zlepšení vlastností z hlediska EMC vést paralelně jeden zemnicí vodič připojený na obou koncích k místnímu systému uzemnění (pospojování, připojení ke kovovému krytu přístroje nebo zařízení).

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je vlastnost elektrického nebo magnetického přístroje nebo nástroje spočívající v tom, že neovlivňuje jiný objekt včetně sebe samotného a že odolává působení ostatních přístrojů. Dělí se tedy na dvě podkategorie:

- EMI - elektromagnetická interference (rušení)
- EMS - elektromagnetická susceptibilita (odolnost)

Příloha 2

Tabulka pro určení okraje a můstku pro stříhání



Příloha 3

Navrhnuté stroje a nástroje




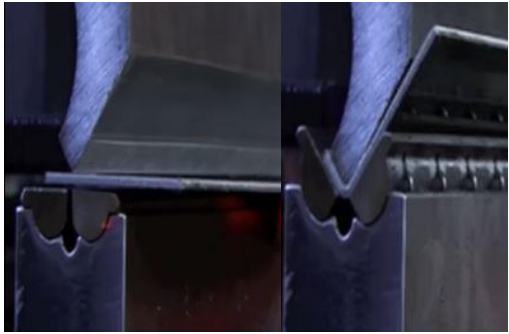
Stroj Trumatic 6000 L

	<p>Základní technické údaje:</p> <ul style="list-style-type: none">• Kapacita laseru 2 700 Watt• Maximální děrovací síla 220 kN• Max. tloušťka materiálu 8 mm• Průměr děrování 76,3 mm• Hmotnost obrobku 200 kg• Pracovní plocha 2 585 x 1 280 mm
	<ul style="list-style-type: none">• Počet nástrojů 18• Ovládaný hydraulicky

Stroj Costa MD4

	<p>Základní technické údaje:</p> <ul style="list-style-type: none">• Šířka pracovního stolu 1 150 mm• Je opatřen dvěma brusnými pásy• Má válcové a vertikální kartáče
---	---

Stroj Trumabend V130 + ohybnice

	<p>Technické údaje:</p> <ul style="list-style-type: none">• Možnost ohýbat maximální délky 3 m• Maximální síla ohybu 130 tun
	<ul style="list-style-type: none">• Standardní ohybník a ohybnice• Vysoká kvalita a přesnost• Kompatibilita
	<ul style="list-style-type: none">• Proces ohýbání lze usnadnit pomocí speciální ohybnice Rolla-V od výrobce Roller.
	<p>Výhody:</p> <ul style="list-style-type: none">• Snadná a rychlá výměna nástrojů• Zvýšená životnost• Nástroje jsou zaměnitelné• Dokáže ohnout velmi krátké strany• Vysoká přesnost broušení• Redukce otlaků• Kompatibilní s většinou ohraňovacími lisami• Moderní design

SEZNAM VÝKRESŮ

1. Výkres součásti, ŽLAB, BP-2017-04-30-01
2. Výkres součásti, STÍNÍČÍ PŘEPÁŽKA, BP-2017-04-30-02
3. Výkres sestavy, KABELOVÝ ŽLAB, BP-2017-04-30-03